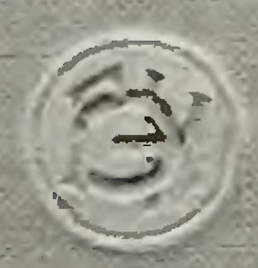
ОБМОТКИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН



ГОСЭНЕРГОИЗДАТ
1940

А. И. ЕРЕМЕЕВ, В. И. ЗИМИН, М. Я. КАПЛАН, И. Н. РАБИНОВИЧ,
В. П. ФЕДОРОВ, П. А. ХАККЕН, Р. А. ЮКСИК

ОБМОТКИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН

ИЗДАНИЕ ВТОРОЕ
ПЕРЕРАБОТАННОЕ

Утверждено ГУУЗ Наркомэлектро в качестве учебника для курсов мастеров социалистического труда

Цена 10 р. 75 к. пер. 2 р.



НКЭП СССР
ГОСУДАРСТВЕННОЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО
МОСКВА 1940 ЛЕНИНГРАД

Напечатано по приказу Народного комиссариата электростанций и электропромышленности СССР № 57/а от 4 марта 1940 г.

ОПЕЧАТКИ

Страница	Строка	Напечатано	Должно быть	По чьей вине
44	15 сверху	$y_{kn} = y_{1n} = 1$	$y_{kn} = y_{n} = 1$	автора
69	6 сверху	в метрах	в сантиметрах	»
Между стр. 98 и 99	Рис. 89,*б*	Паз *4* должен быть соединен с пазом *13*		цинкографии
413	8 сверху	$U_{стар}$	$U_{нов}$	автора

Обмотки электрических машин

ПРЕДИСЛОВИЕ

Великая Октябрьская социалистическая революция открыла широкие возможности электрификации нашей страны. За два десятилетия задача электрификации СССР, осуществляемой под непосредственным руководством партии Ленина—Сталина, выполнена в огромной степени. В настоящее время нет у нас такой отрасли промышленности, нет такого уголка, где бы не работали электрические машины, начиная с мощнейших генераторов в десятки тысяч киловатт и гигантских электродвигателей для крупных прокатных станов и кончая генераторами колхозных электростанций и электродвигателями, мощностью, измеряемою долями лошадиной силы.

Благодаря такому распространению электрических машин их роль становится исключительно ответственной. От качества электрической машины, от ее надежной работы зависит нормальная бесперебойная работа заводов и фабрик любой отрасли промышленности.

Важнейшим элементом в конструкции электрической машины является ее обмотка. Поэтому многочисленные кадры рабочих, занятых изготовлением, обслуживанием и ремонтом электрических машин на электромашиностроительных заводах и на любых предприятиях, где находятся в эксплоатации электрические машины, должны овладеть техникой обмоточного дела.

Настоящая книга призвана вооружить передовых рабочих, ударников и стахановцев электромашиностроения теми сведениями, которые являются фундаментом для освоения высот технических знаний в данной области.

Книга должна помочь рабочим—мастерам социалистического труда подняться на более высокую ступень технического развития, она должна выработать в них умение двигать технику вперед, она должна научить их разбираться в различных тонкостях производственного процесса и дать им в руки оружие, с помощью которого они смогли бы успешно бороться с производственными неполадками. Осваивая технику своего дела, овладевая одновременно большевизмом на основе «Краткого курса истории ВКП(б)», — электромашиностроители будут на высоте тех задач, которые ставятся перед ними поступательным ходом индустриального развития нашей страны в период постепенного перехода от социализма к коммунизму.

В настоящей книге рассматриваются, главным образом, машины средней мощности; обмотки турбогенераторов как требующие специального рассмотрения в книгу не включены. При составлении книги

авторы исходили из предпосылки, что читатели уже знакомы с основами электротехники, в частности с элементарным курсом электрических машин, и, само собой понятно, обладают соответствующей подготовкой в области элементарных основ математики и физики, как это предусмотрено программами для курсов мастеров социалистического труда. Вопросы теории и конструкции обмоток даны здесь в более или менее полном изложении.

Предлагаемая книга выходит вторым изданием. По сравнению с первым изданием в настоящее издание внесены некоторые изменения. Так, например, коренным образом переработано изложение теории статорных обмоток машин переменного тока. Сделана попытка изложить построение обмотки, не прибегая к математическому исследованию. Более полно изложена теория уравнительных соединений якорных обмоток постоянного тока, а также рассмотрены «лягушачьи обмотки». Изложены новые методы пайки якорей и роторов, технологические процессы изготовления разрезных обмоток, обмоток роторов на 3000 *об/мин* и т. д.

В то время как в первом издании изложение технологического процесса изготовления обмоток основывалось, главным образом, на опыте завода «Электросила» им. С. М. Кирова, в настоящем издании частично отражен опыт и другого ведущего электромашиностроительного завода, а именно — Харьковского электромеханического и турбогенераторного завода им. Сталина.

Некоторые места текста, могущие представить затруднения для недостаточно подготовленного читателя (например формулы расчета бандажей, определение размеров обмотки), напечатаны мелким шрифтом. Эти места могут быть пропущены при пользовании книгой на курсах мастеров социалистического труда.

Несмотря на то, что при переработке книги авторы по возможности учли различные указания и сообщенный им опыт преподавания на курсах мастеров социалистического труда, все же это далеко не гарантирует книгу от различных недочетов и ошибок как методического характера, так и по существу рассматриваемых вопросов. Поэтому авторы вновь обращаются к читателям с призывом дать свои замечания и пожелания, которые будут приняты с благодарностью.

Письма просьба направлять по адресу: Ленинград, Пр. 25 Октября 28, VI этаж, Ленинградское отделение Госэнергоиздата.

ОТДЕЛ ПЕРВЫЙ
ТИПЫ И ЭЛЕМЕНТЫ ОБМОТОК

ГЛАВА I

ЯКОРНЫЕ ОБМОТКИ МАШИН ПОСТОЯННОГО ТОКА

1. ВВЕДЕНИЕ

Обмотка якоря представляет собой совокупность проводников, расположенных на поверхности якоря и соединенных между собой по определенным законам. Соединения между проводниками обмотки якоря должны быть выполнены таким образом, чтобы э. д. с., индуктируемые в них, складывались и давали на зажимах машины постоянную по величине и направлению э. д. с.

В настоящее время применяют разнообразные способы соединения между собой отдельных активных проводников обмотки якоря, — иными словами, существуют разнообразные типы обмоток. Для каждого типа обмотки характерным является определенная последовательность соединений проводников, причем свойства обмотки зависят от этой последовательности.

В дальнейшем нам предстоит изучить законы соединения и свойства различных обмоток якоря.

Все обмотки, в соответствии с конструкцией якоря, могут быть подразделены на кольцевые и барабанные. Кольцевые якори в настоящее время не применяются,— их можно встретить только в старых машинах; однако обмотки кольцевого якоря для изучения являются наиболее простыми, знакомство с ними может оказать помощь при изучении более сложных обмоток барабанных якорей, поэтому мы с них и начнем изучение обмоток.

2. СПИРАЛЬНАЯ ОБМОТКА КОЛЬЦЕВОГО ЯКОРЯ

А. Двухполюсная машина

Спиральная обмотка кольцевого якоря представляет собой навитую на цилиндрическое кольцо проволоку, от которой через один или несколько витков сделаны присоединения к коллектору (рис. 1). На коллекторе по линии OO', перпендикулярной к оси полюсов, расположены щетки A и B. При вращении якоря в магнитном поле проводники, расположенные на наружной поверхности якоря, будут пересекать силовые линии магнитного поля и в них будут индуктироваться э. д. с., направление которых определяется правилом правой руки. Это правило состоит в следующем. Ладонь правой руки нужно расположить таким

образом, чтобы в нее входили силовые линии, а большой палец руки показывал направление движения проводника, тогда все остальные пальцы покажут направление э. д. с. (рис. 2). В дальнейшем условимся направление э. д. с. обозначать следующим образом: проводники, в которых э. д. с. направлена от нас, будем обозначать крестиком в кружке ⊕ (хвостик стрелки); проводники, в которых э. д. с. направлена к нам, — точкой в кружке ⊙ (острие стрелки).

Рис. 1. Спиральная обмотка двухполюсной машины.

Рис. 2. Правило правой руки.

Для быстрого определения направления э. д. с. можно запомнить следующее правило: при перемещении проводника вправо, что соответствует направлению вращения якоря по часовой стрелке, в проводниках, расположенных под северным полюсом, э. д. с. направлена от нас.

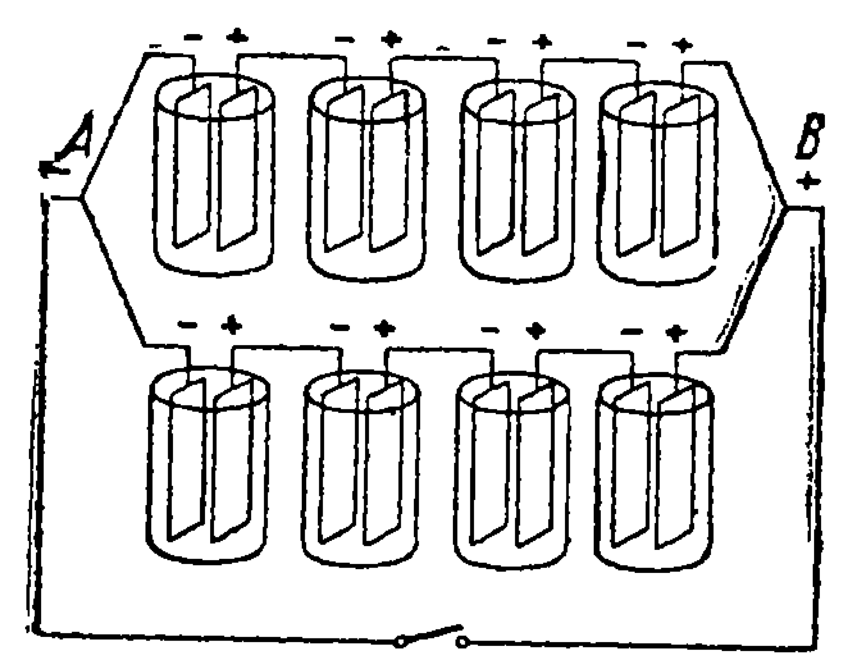


Рис. 3. Соединение элементов, эквивалентное обмотке якоря.

Если якорь (рис. 1) вращать по часовой стрелке, то в проводниках *1*, *2*, *3* и *4*, расположенных в данный момент под северным полюсом, будут индуктироваться э. д. с., направленные от нас; в проводниках же *5*, *6*, *7* и *8*, расположенных под южным полюсом, — направленные к нам. По рис. 1 нетрудно проследить, что в проводниках *1*, *2*, *3* и *4*, а также и в проводниках *5*, *6*, *7* и *8* э. д. с. складываются. Таким образом в соответствии с направлением э. д. с. проводники обмотки якоря распадаются на две группы, расположенные под разными полюсами. Далее можно проследить, что э. д. с. в обеих группах проводников обмотки направлены друг другу навстречу. Они стремятся создать внутри замкнутой обмотки якоря токи разного направления; так как по величине э. д. с. в обеих частях обмотки равны, то тока в обмотке якоря не будет.

По отношению к щеткам (внешняя цепь) э. д. с. в обеих половинах обмотки имеет одинаковое направление и стремится создать ток, выходящий из щетки *B*, проходящий через внешнюю цепь и возвращающийся в щетку *A*. Таким образом по отношению к внешней цепи обе половины обмотки включены параллельно; в дальнейшем мы будем их называть параллельными ветвями. Из рис. 1 видно, что ток во внешней цепи в два раза больше тока в каждой из ветвей обмотки.

Обмотку якоря можно сравнить с параллельным соединением элементов или аккумуляторов. Для определенного положения якоря каждый виток обмотки можно мысленно заменить одним элементом, а параллельную ветвь — рядом последовательно соединенных между собой элементов. В нашем примере параллельная ветвь заменяется четырьмя элементами. Так как э. д. с. витков одной параллельной ветви имеет противоположное направление э. д. с. витков другой параллельной ветви, то группы элементов, заменяющие эти э. д. с., нужно включить навстречу друг другу (рис. 3).

При таком включении внутри цепи, составленной из восьми элементов, э. д. с. будет равна нулю, а следовательно, по ней не будет протекать никакого тока; напряжение же на зажимах *A* и *B* будет равно э. д. с. четырех элементов.

Б. Четырехполюсная машина

Поместим кольцевой якорь в четырехполюсную магнитную систему (рис. 4). Разместим на якоре 16 проводников. Направления э. д. с. в проводниках обмотки якоря, при вращении его по часовой стрелке, обозначены на рисунке. Все проводники обмотки могут быть подразделены на 4 группы, в соответствии с направлением э. д. с. в них.

В проводниках *1*, *2* и *3*, при данном положении якоря, индуктируются э. д. с., направленные от нас; в проводниках *5*, *6* и *7* э. д. с. направлены к нам и т. д. Э. д. с. в каждой группе проводников складываются, а э. д. с. отдельных групп действуют друг другу навстречу.

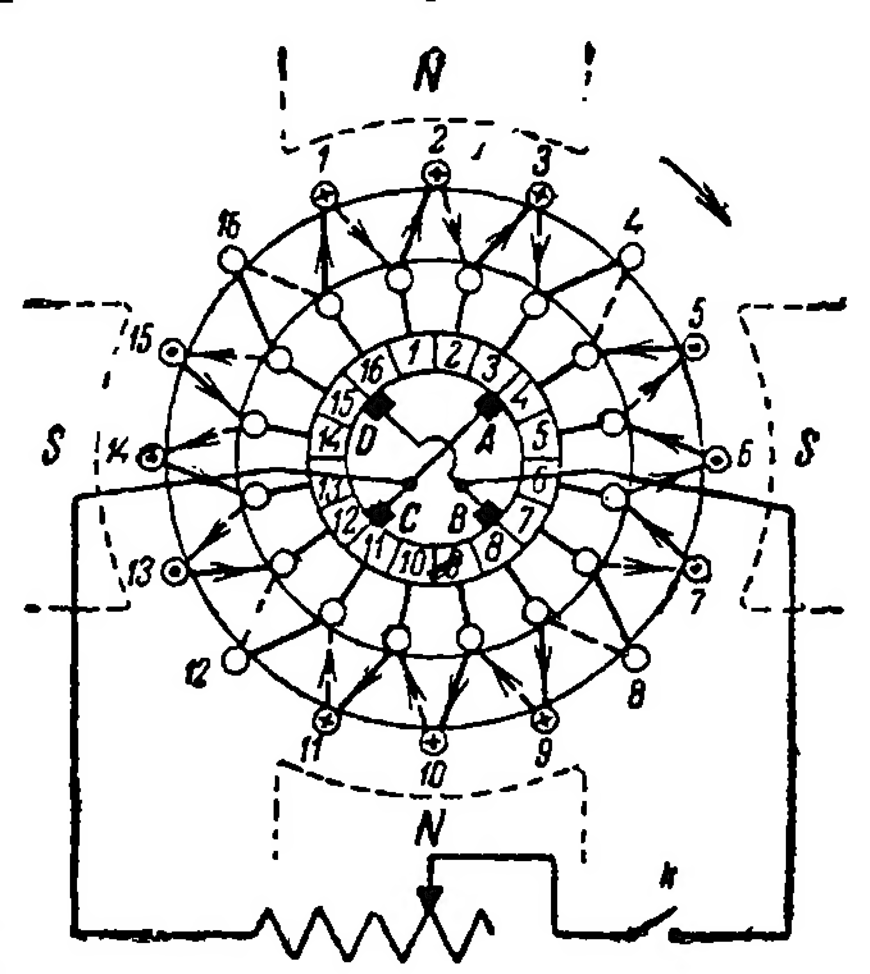


Рис. 4. Спиральная обмотка четырехполюсной машины.

Таким образом в этом случае, как и при двухполюсной машине, общая э. д. с. всех групп внутри замкнутой обмотки якоря равна нулю. Если посередине между полюсами разместить на коллекторе щетки *A*, *B*, *C* и *D*, то индуктированные в отдельных группах проводников э. д. с. будут стремиться создать токи, выходящие из щеток *A* и *C* и входящие в щетки *B* и *D*. Щетки *A* и *C* будут положительными, а щетки *B* и *D* — отрицатель-

ными. Щетки одинаковой полярности (A и C, B и D) можно соединить между собой электрически (кабелем или шиной) и от этих соединений сделать отводы во внешнюю цепь (рис. 4).

Соединение между собой щеток одной полярности не вызывает тока в обмотке. Ток в обмотке якоря появится только тогда, когда мы соединим между собой положительные и отрицательные щетки (щетки разной полярности), т. е. когда замкнем рубильник k (см. рис. 4) и подключим внешнюю цепь. Таким образом, пока внешняя цепь, которая может содержать лампы, двигатели, нагревательные приборы и т. д., не включена, в обмотке якоря тока нет, а следовательно, нет и бесполезного расхода энергии на нагревание проводников обмотки якоря.

Отсутствие тока в обмотке якоря при выключенной внешней цепи является основным требованием, которому должны удовлетворять все обмотки.

Это требование будет выполняться только тогда, когда сумма э. д. с. всех проводников обмотки якоря равна нулю. Действительно, если бы это условие не было выполнено, т. е. если бы э. д. с. отдельных параллельных ветвей не уравновешивали друг друга, по обмотке якоря протекал бы ток независимо от того, включена ли обмотка на внешнюю цепь или не включена. Этот ток, протекая по обмотке, вызывал бы бесполезные потери и нагревал бы якорь.

Рассмотрим теперь, сколько параллельных ветвей имеет спиральная обмотка четырехполюсной машины.

Из рис. 4 видно, что к каждой из положительных щеток A и C ток подходит от двух групп проводников (к щетке A — от группы проводников *1*, *2*, *3* и от группы проводников *5*, *6* и *7*; к щетке C — от групп проводников *9*, *10*, *11* и *13*, *14*, *15*).

Таким образом к положительной шине, соединяющей две положительные щетки A и C, ток подходит от четырех групп проводников, т. е. от четырех параллельных ветвей обмотки якоря.

Из рассмотренных двух примеров можно сделать следующие выводы:

1) спиральная обмотка кольцевого якоря имеет число параллельных ветвей, равное числу полюсов;

2) проводники каждой параллельной ветви расположены под одним полюсом.

В дальнейшем число параллельных ветвей обмотки будем обозначать через $2a$, а число полюсов машины — через $2p$, где a — число пар параллельных ветвей, p — число пар полюсов машины.

Для спиральной обмотки кольцевого якоря

$$2a = 2p.$$

В. Недостатки кольцевого якоря

Кольцевой якорь имеет ряд недостатков.

1. Невозможность предварительной заготовки и изолировки обмотки. Обмотка кольцевого якоря может выполняться только вручную — протягиванием проводника с одного конца якоря к другому.

2. Плохое использование меди обмотки, так как э. д. с. индуктируется только в наружных проводниках, которые пересекают силовые линии магнитного поля. Проводники, находящиеся с внутренней стороны кольца, не пересекают силовых линий, а поэтому не участвуют в образовании э. д. с.

3. Плохое охлаждение внутренних проводников обмотки.

Указанные недостатки и целый ряд других привели к тому, что кольцевой якорь был вытеснен из употребления более совершенным барабанным или, иначе, цилиндрическим якорем.

3. БАРАБАННЫЙ ЯКОРЬ

А. Введение

Барабанный якорь в том виде, в каком он в настоящее время изготовляется, представляет собой цилиндр, собранный из отдельных листов железа, толщиной 0,5 *мм*. На поверхности якоря имеются канавки, называемые пазами, в которые укладывается обмотка.

Обмотки барабанных якорей большей частью выполняются двухслойными, т. е. проводники обмотки якоря в пазу лежат друг над другом.

Б. Основные типы обмоток

При выполнении обмотки якоря проводники, расположенные в пазах якоря, следует соединять между собой таким образом, чтобы э. д. с. в них складывались. Э. д. с. двух проводников будут складываться в том случае, если мы соединим их между собой так, как указано на рис. 5, т. е. проводник *a*, расположенный под северным полюсом, соединим с проводником *b*, расположенным под южным полюсом. Два проводника, соединенные между собой указанным на рис. 5 способом, называют витком обмотки якоря.

Рис. 5. Виток обмотки.

Расстояние между проводниками, составляющими виток, должно быть равно или незначительно отличаться от расстояния между серединами соседних полюсов (полюсного шага), так как при соблюдении этого условия виток будет охватывать весь магнитный поток полюса, и э. д. с. в нем при вращении якоря будет иметь наибольшее значение.

Соединив каждые два отдельных проводника обмотки якоря в витки со стороны, противоположной коллектору, надо еще соединить витки между собой со стороны коллектора и присоединить обмотку к коллектору.

Соединение витков может быть выполнено двумя способами:

По первому способу (рис. 6) начало витка *A* присоединяется к коллекторной пластине, а конец его соединяется с началом рядом лежащего витка *B*; далее конец витка *B* присоединяется к соседней коллекторной пластине и соединяется с началом соседнего витка *C* и т. д. до тех пор, пока обмотка не замкнется, т. е. пока мы не вернемся к началу витка *A*. Э. д. с. витков *A*, *B*, *C* и т. д. складываются.

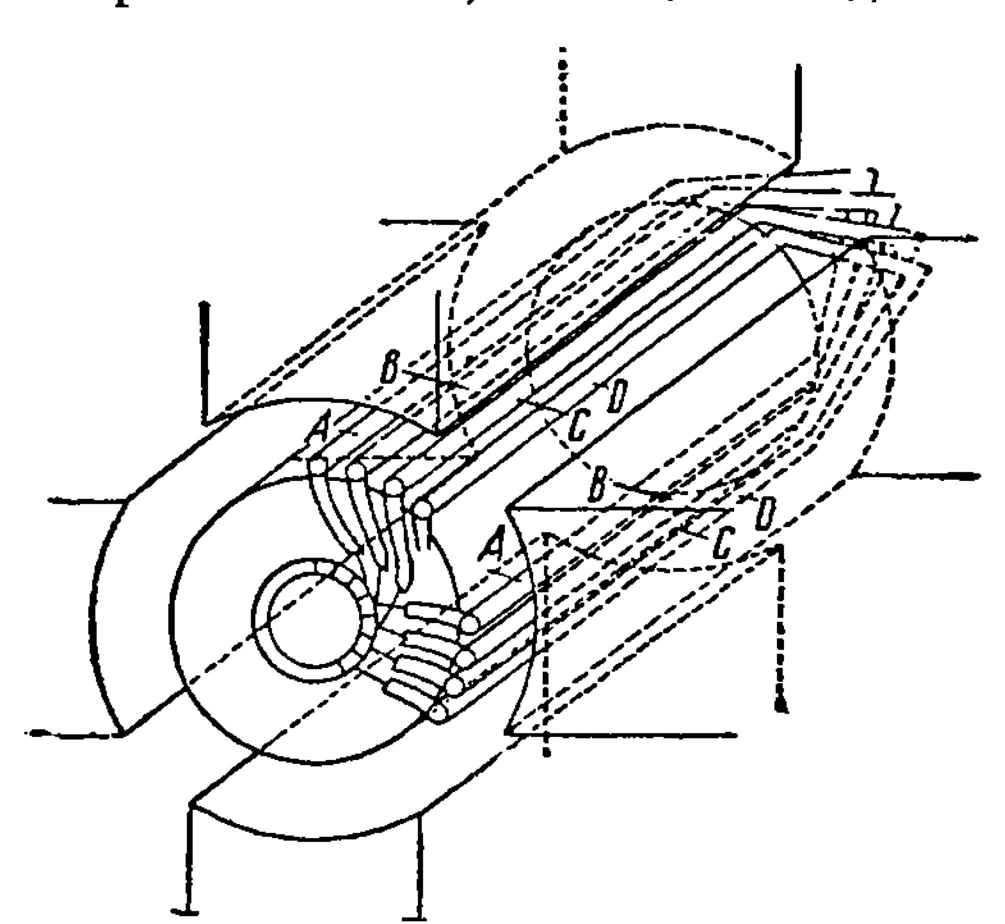


Рис. 6. Петлевая обмотка.

Обмотка, выполненная этим способом, называется **параллельной**, или **петлевой, обмоткой**. Последнее название обмотка получила потому, что она имеет вид петель, расположенных на поверхности якоря.

По второму способу (см. рис. 7) витки соединяются следующим образом. Конец витка *A* присоединяется к коллекторной пластине и соединяется с началом витка *B*, который расположен под следующей парой полюсов.

Затем конец витка *B* присоединяют к коллекторной пластине и соединяют с началом витка *C* и т. д. до тех пор, пока обмотка не замкнется, т. е. пока мы не вернемся к началу витка *A*.

На рис. 7 нетрудно видеть, что и в этом случае э. д. с. витков *A*, *B* и *C* складываются.

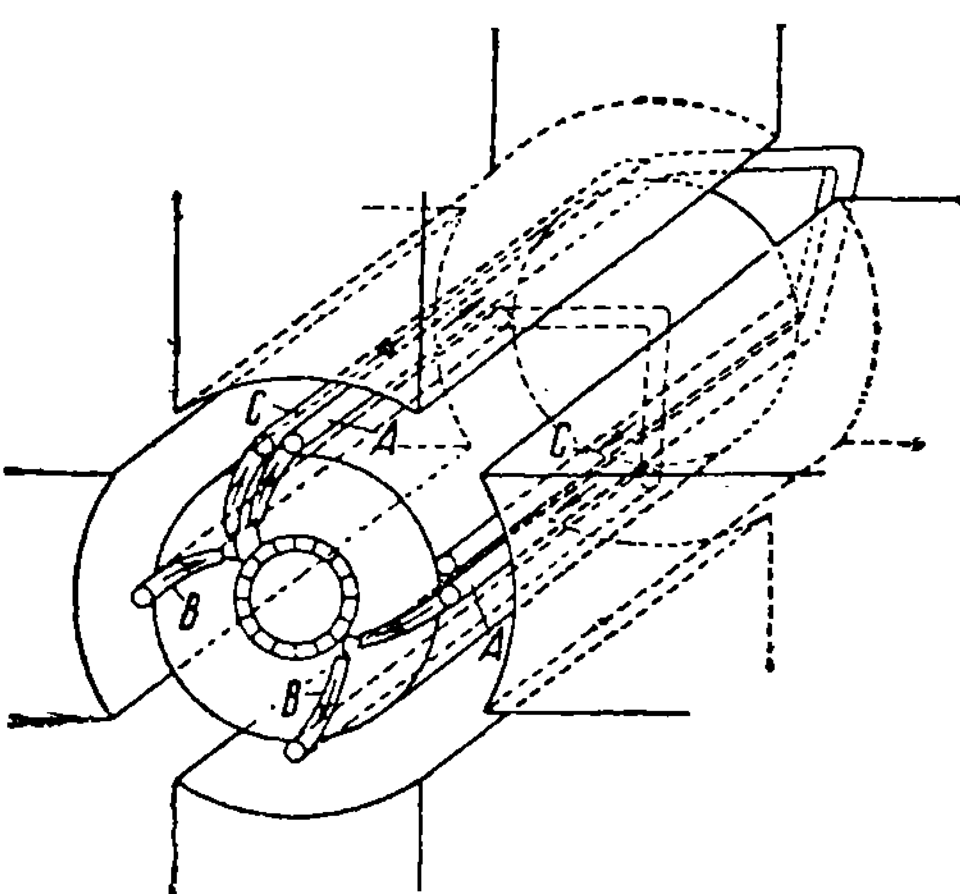


Рис. 7. Волновая обмотка.

Обмотка, выполненная по второму способу, носит название **последовательной**, или **волновой, обмотки**.

Петлевая и волновая обмотки являются двумя основными типами современных обмоток.

В. Графическое изображение обмоток. Схемы обмоток

Обычно обмотка якоря содержит большое число проводников, и если бы мы захотели показать все соединения между проводниками и витками обмотки таким же образом, как это изображено на рис. 6 и 7,

то получили бы очень сложный и технически трудно выполнимый рисунок. Поэтому, прежде чем перейти к подробному изучению свойств обмоток, необходимо остановиться на существующих более наглядных способах изображения обмоток.

Существуют два способа графического изображения обмоток.

1. При первом способе проектируют обмотку якоря со стороны коллектора на плоскость, перпендикулярную оси якоря, т. е. изображают вид обмотки со стороны коллектора; при этом проводники, расположенные на поверхности якоря, изображают кружочками, а невидимые торцовые соединения со стороны, противоположной коллектору, выносят за окружность якоря.

2. При втором способе цилиндрическая поверхность якоря вместе с обмоткой развертывается на плоскость чертежа.

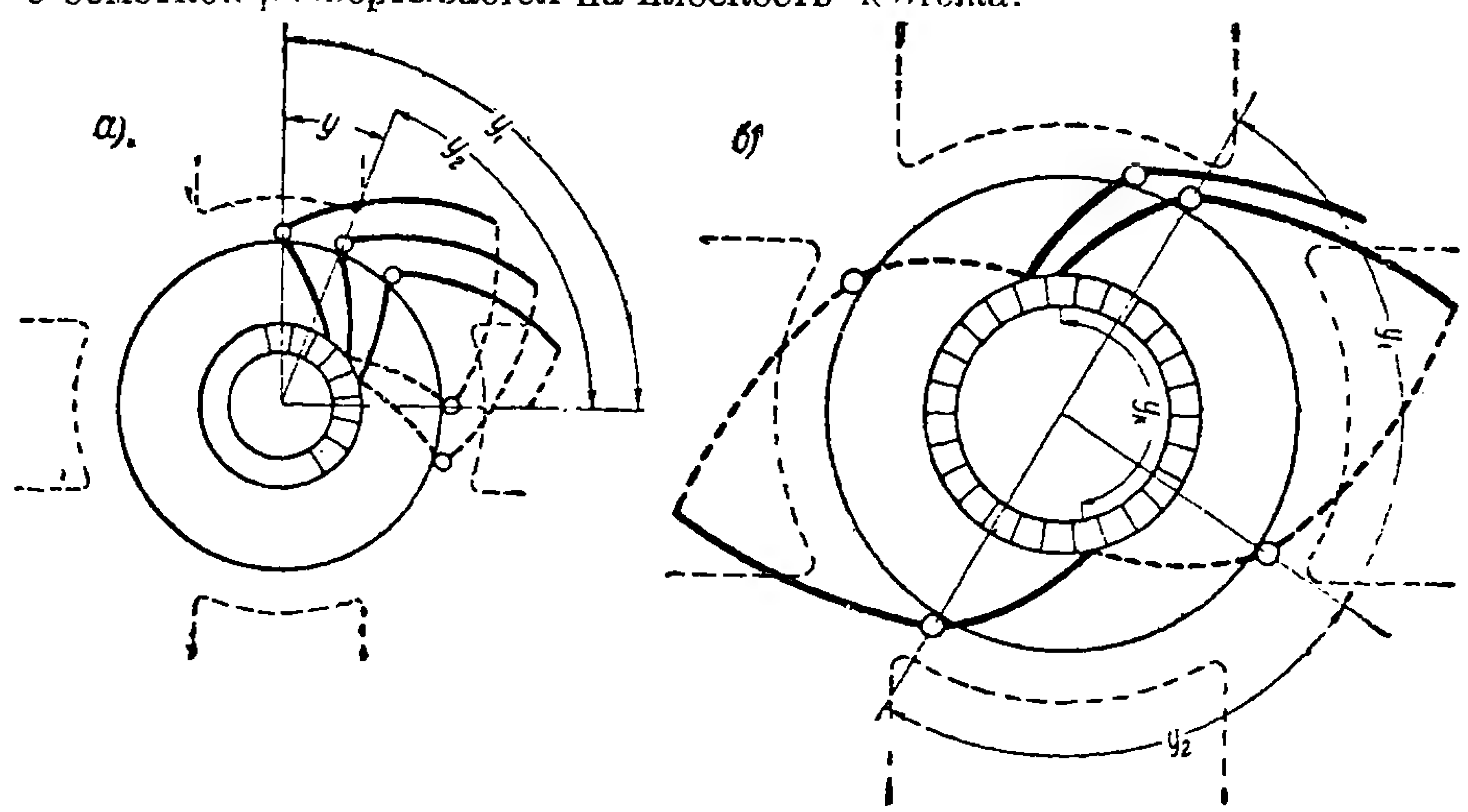


Рис. 8. Петлевая (*а*) и волновая (*б*) обмотки.

На рис. 8 показаны петлевая (*а*) и волновая (*б*) обмотки, изображенные по первому способу.

На рис. 9 показаны те же самые обмотки, но изображенные по второму способу.

Изображение обмоток указанными способами называют **схемами обмоток**.

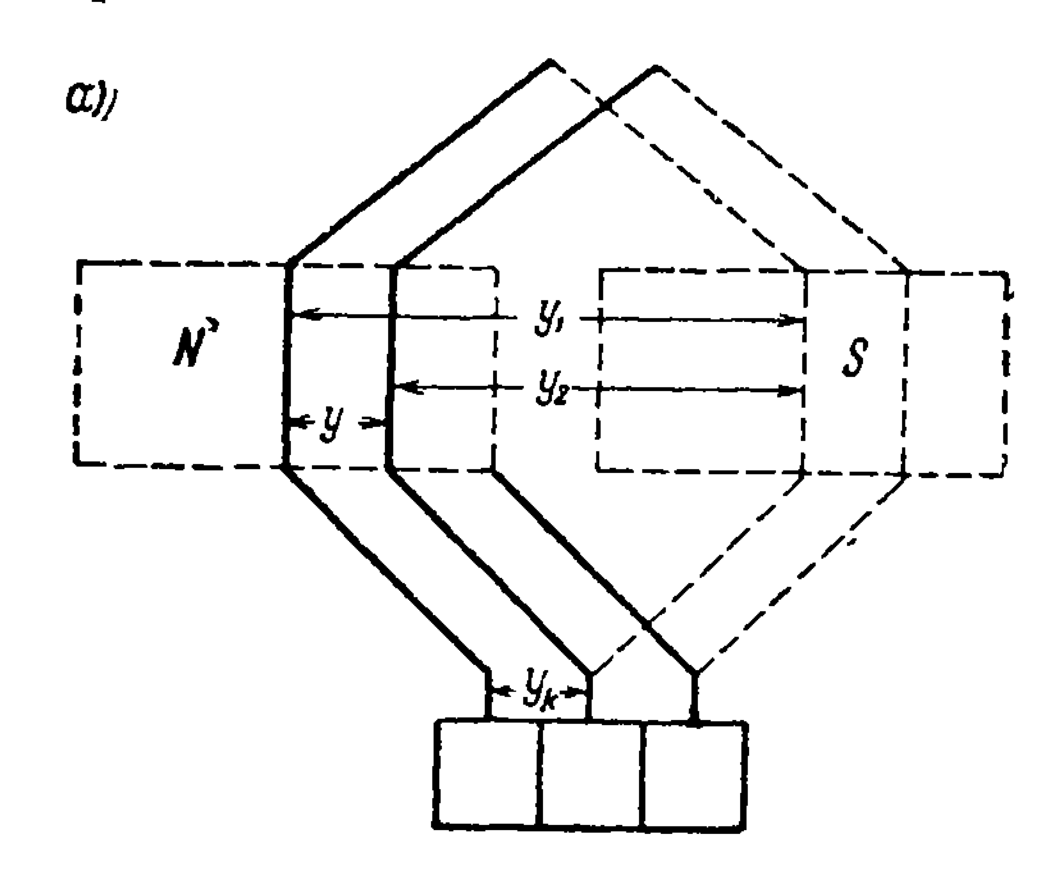
Схема обмотки дает ясное представление о порядке соединения проводников и витков обмотки и, как мы ниже увидим, дает возможность легко разобраться в свойствах обмотки.

Г. Секция обмотки якоря

Выше было указано, что как петлевая, так и волновая обмотки состоят из витков. Отличие одной обмотки от другой состоит в том, что витки со стороны коллектора соединяются между собой по-разному. В той и другой обмотках к каждой коллекторной пластине присоединяются два проводника, из которых один проводник является концом предыдущего витка, а другой — началом следующего витка.

Так как каждый виток состоит из двух проводников и к каждой коллекторной пластине присоединяется также по два проводника, то очевидно, что число коллекторных пластин будет равно числу витков и в два раза меньше числа проводников.

Число витков обмотки, как мы увидим ниже, определяется напряжением машины. Если число витков обмотки якоря принять равным числу коллекторных пластин, то при некотором напряжении число



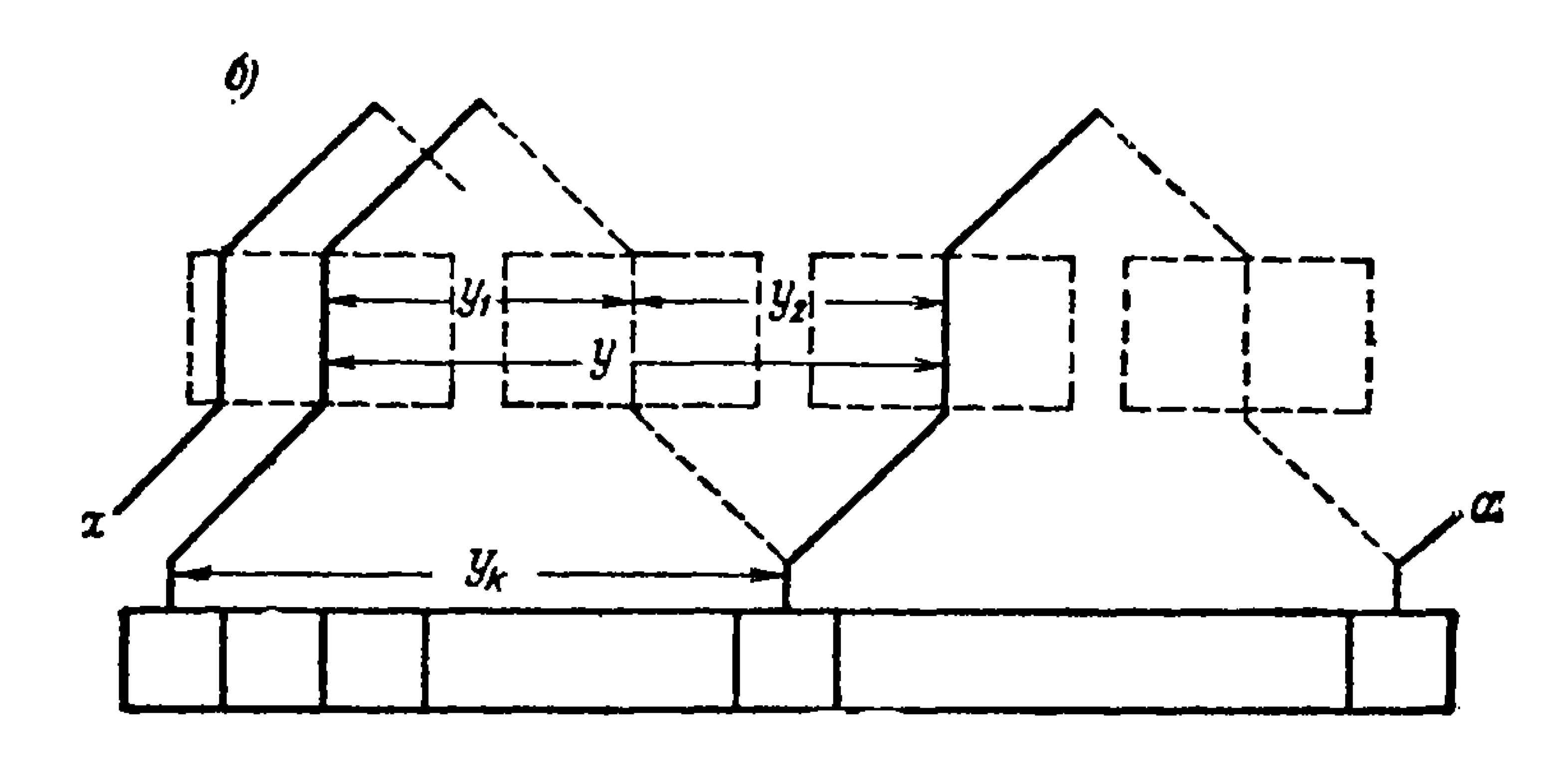


Рис. 9. Петлевая (*а*) и волновая (*б*) обмотки в развернутом виде.

коллекторных пластин может получиться настолько большим, что механически коллектор трудно будет выполнить. Коллекторные пластины в этом случае будут очень тонкими и в них трудно будет впаять «петушки»; это обстоятельство заставляет сильно увеличивать диаметр коллектора. Для получения приемлемых размеров коллектора можно искусственно уменьшить число коллекторных пластин. Для этого несколько рядом лежащих витков соединяют последовательно, т. е. конец первого витка, не присоединяя его к коллектору, соединяют с началом второго витка, конец второго — с началом третьего и т. д.

Начало первого витка и конец последнего витка присоединяют к коллектору.

На рис. 10 показана часть волновой обмотки, у которой между двумя коллекторными пластинами находятся три последовательно соединенных витка.

Часть обмотки, заключенную между двумя коллекторными пластинами, встречаемыми при обходе обмотки по схеме, называют секцией.

В частном случае, когда каждый виток присоединяется к коллекторным пластинам, мы получим обмотку, в которой секции состоят из одного витка, т. е. витки обмотки якоря в этом случае являются секциями.

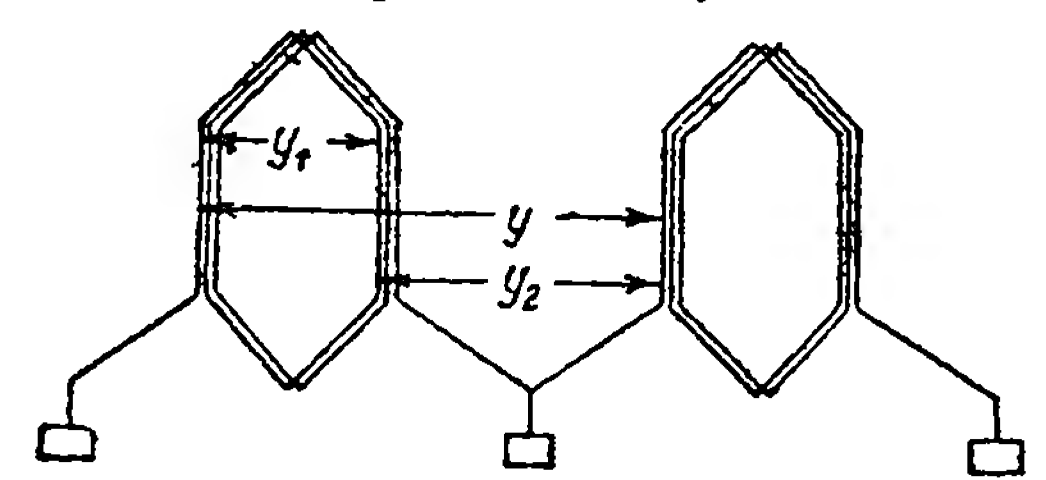


Рис. 10. Трехвитковые секции волновой обмотки.

Очевидно, что схема обмотки, т. е. порядок соединения секций, останется неизменным, будет ли секция состоять из одного витка или из нескольких. В том и другом случае секции необходимо соединить между собой таким образом, чтобы э. д. с. в них складывались. В дальнейшем для большей ясности схем обмоток мы будем считать, что секция состоит из одного витка. Каждую сторону секции называют секционной стороной; если секция состоит из нескольких витков, то секционная сторона содержит столько проводников, сколько витков в секции.

Д. Связь между числом секций и числом коллекторных пластин обмотки якоря

Найдем, какая зависимость существует между числом проводников обмотки якоря, числом секций и числом коллекторных пластин. Обозначим: N — число проводников обмотки якоря, S — число секций обмотки якоря, w — число витков в секции и K — число коллекторных пластин.

Общее число витков обмотки якоря равно числу проводников N, деленному на два, т. е. равно $\frac{N}{2}$, ибо каждый виток состоит из двух проводников.

Число секций обмотки якоря S равно общему числу витков обмотки якоря, деленному на число витков в секции, т. е.

$$S = \frac{N}{2w}.$$

Далее каждая секция имеет два конца; к каждой коллекторной пластине присоединяются также два конца — начало одной секции

и конец другой; поэтому число коллекторных пластин равно числу секций

$$K = S = \frac{N}{2w}.$$

Е. Шаги обмотки

Для выполнения секций обмотки якоря необходимо знать их ширину, т. е. расстояние между проводниками обмотки якоря, соединяемыми со стороны, противоположной коллектору.

Расстояние между проводниками (секционными сторонами) *одной секции называют первым шагом обмотки и обозначают через* y_1 (см. рис. 8 и 9).

Это расстояние для любой обмотки — петлевой или волновой, как было указано ранее, должно равняться или незначительно отличаться от расстояния между соседними полюсами. Только в этом случае э. д. с. соединяемых проводников будут складываться.

Первый шаг представляет собой ширину витка обмотки.

Выполняя обмотку, мы от конца данной секции переходим к началу следующей. Этот переход в петлевой и волновой обмотках выполняется по-разному.

Расстояние между концом данного витка и началом следующего называют вторым шагом и обозначают через y_2 (см. рис. 8 и 9).

Второй шаг (y_2) определяет расстояние между проводниками (секционными сторонами), соединенными со стороны коллектора.

Знание первого (y_1) и второго (y_2) шагов обмотки не дает еще полного представления об обмотке. Действительно, зная эти шаги, еще трудно судить, какая будет обмотка — петлевая или волновая. Все будет зависеть от того, в какую сторону мы будем смещаться, соединяя конец данной секции с началом следующей. Если мы сместимся назад к началу исходной секции, то получим петлевую обмотку; если же сместимся вперед, то получим волновую обмотку.

Эту неопределенность можно устранить, если задать расстояние между началами секций, встречаемыми при обходе обмотки по схеме.

Расстояние между началами двух секций, следующих друг за другом по схеме обмотки, называют результирующим шагом и обозначают через y (см. рис. 8 и 9).

На рис. 8 и 9 можно видеть, что между шагами обмотки существует определенная зависимость:

для петлевой обмотки

$$y = y_1 - y_2; \tag{1}$$

для волновой обмотки

$$y = y_1 + y_2. \tag{2}$$

Далее, для выполнения обмотки еще необходимо знать расстояние между коллекторными пластинами, к которым присоединены начало и конец витка.

Расстояние между двумя коллекторными пластинами, к которым присоединяются

начало и конец витка (секции), называют шагом по коллектору и обозначают через $y_к$.

Знание шагов обмотки: первого (y_1), второго (y_2) результирующего (y) и шага по коллектору ($y_к$) вполне достаточно для выполнения обмотки.

В настоящее время обмотки якорей машин постоянного тока выполняются в виде двухслойных обмоток. Если число секций обмотки небольшое, то число пазов берут равным числу секций. В этих случаях в каждом пазу лежат по две секционных стороны: одна — вверху паза, а другая — внизу (конечно, эти секционные стороны принадлежат разным секциям).

В тех случаях, когда число секций получается большим, число пазов уменьшают, укладывая вверху и внизу паза по несколько секционных сторон рядом—обычно не больше 5. Этим самым мы заменяем одним реальным пазом несколько пазов, в которых было бы только по две секционных стороны или по два проводника.

На рис. 11, *а* изображены пазы с одной секционной стороной по ширине паза, а на рис. 11, *б* — с тремя сторонами.

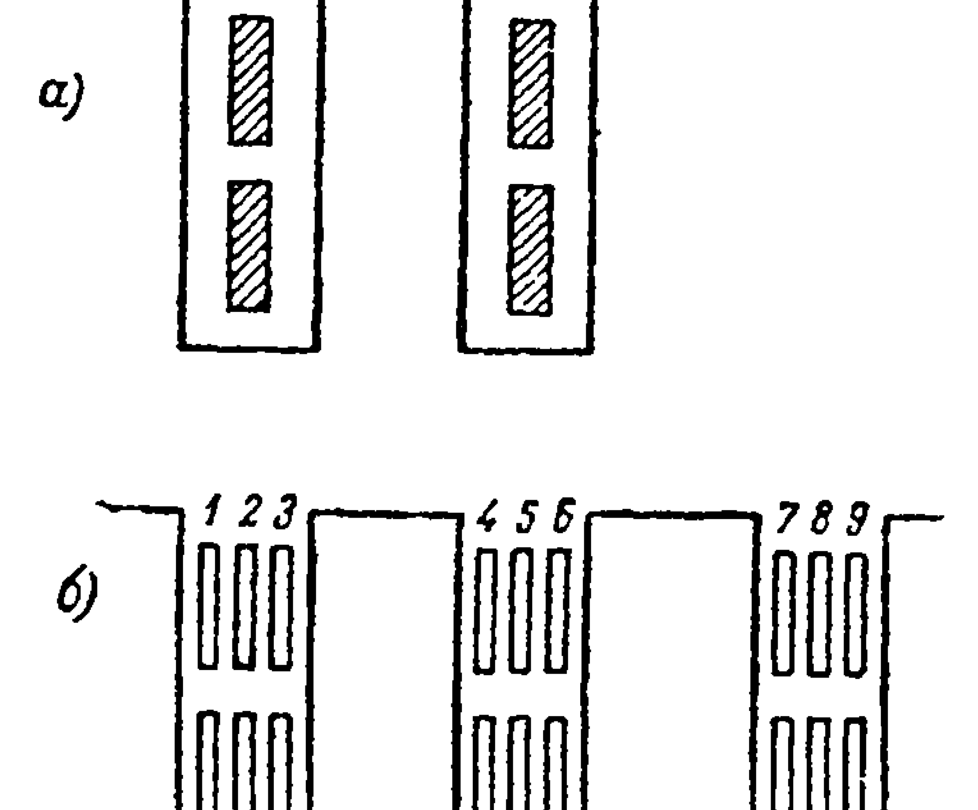


Рис. 11. Укладка проводников в пазы и их нумерация.

Паз, в котором по ширине лежит одна секционная сторона, называется простейшим, или элементарным, пазом.

Паз, изображенный на рис. 11, *б*, представляет собой три элементарных паза, совмещенных в одном реальном пазу.

Таким образом элементарным пазом мы будем называть две секционные стороны, расположенные друг под другом.

В тех случаях, когда секция имеет несколько витков, секционная сторона будет состоять из нескольких проводников.

На рис. 12 показан реальный паз, состоящий из трех элементарных пазов, причем секция имеет по два витка.

Назовем расстояние между соседними элементарными пазами промежутком, или интервалом; при этом не будем считаться с тем, что этот промежуток при переходе от одного реального паза к соседнему больше.

Шаги обмотки y_1, y_2 и y можно выражать числом промежутков между соединяемыми секционными сторонами. Например, если $y_1 = 6$, то нужно от какого-либо проводника (или, иначе, секционной стороны), принятого за начало секции (проводник лежит вверху паза), отсчи-

тать шесть промежутков, и со стороны, противоположной коллектору, соединить его с проводником, лежащим внизу седьмого элементарного паза.

Так как на каждый элементарный паз приходится по две секционных стороны, то число элементарных пазов по всей окружности якоря равно числу секций или, согласно ранее полученному выводу, числу коллекторных пластин. На рис. 11 и 12 показана нумерация элементарных пазов.

Рис. 12. Укладка проводников в пазу при двухвитковых секциях.

Обозначим число проводников в пазу через s_n, число пазов якоря — Z; тогда число коллекторных пластин, а следовательно и число элементарных пазов, будет равно

$$K = \frac{N}{2w} = \frac{s_n Z}{2w}. \quad (3)$$

4. ПРОСТАЯ ПЕТЛЕВАЯ (ПАРАЛЛЕЛЬНАЯ) ОБМОТКА

А. Шаги обмотки

Согласно предыдущему, стороны каждой секции должны быть удалены друг от друга на расстояние, равное или близкое к полюсному делению.

Это расстояние обычно выражают либо числом элементарных пазов, либо числом реальных зубцов, расположенных между сторонами секции, поэтому если общее число элементарных или реальных пазов якоря разделить на число полюсов машины, мы получим первый шаг обмотки. Таким образом первый шаг обмотки, если вести счет по элементарным пазам, равен

$$y_1 = \frac{K}{2p}. \quad (4)$$

Первый шаг обмотки, выражаемый реальным числом пазов, находящихся между сторонами секции, мы будем называть шагом по пазам и обозначать через y_n.

Таким образом

$$y_n = \frac{Z}{2p}. \quad (5)$$

При определении шагов обмотки по ф-ле (4) может оказаться, что для шага обмотки получится дробное число, что лишено смысла, так как между сторонами секции не может быть расположено дробное число элементарных пазов.

Поэтому ф-лу (4) следует исправить следующим образом: первый шаг по элементарным пазам

$$y_1 = \frac{K \mp b}{2p}, \quad (6)$$

где b — наименьшее число, которое, будучи подставлено в ф-лу (6), дает для y_1 целое число.

Сделаем небольшое замечание о двух возможных выполнениях обмотки с несколькими секционными сторонами, расположенными рядом в пазу.

В первом случае секции одними своими сторонами лежат вверху одного паза, другими сторонами — внизу другого паза, удаленного от первого примерно на расстояние полюсного шага (рис. 13,a).

Во втором случае секции одними своими сторонами также лежат вверху одного паза, но другими сторонами лежат в нижнем слое двух соседних пазов (рис. 13,$б$).

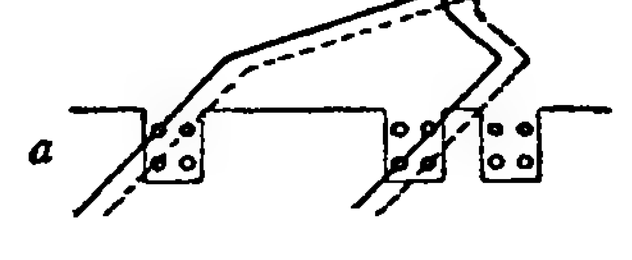
В первом случае все секции имеют одинаковую ширину, и стороны их могут быть предварительно изолированы вместе, образуя катушку.

Во втором случае ширина отдельных секций неодинаковая: имеются длинные и короткие секции. В этом случае изолировать вместе стороны секции нельзя, потому что нижние стороны этих секций лежат в разных пазах.

Обмотка, выполненная с секциями разной ширины, называется **ступенчатой**.

Шаг по коллектору ($y_к$) для петлевой обмотки равен 1, так как начало и конец секции присоединяются к соседним коллекторным пластинам

$$y_к = 1. \tag{7}$$



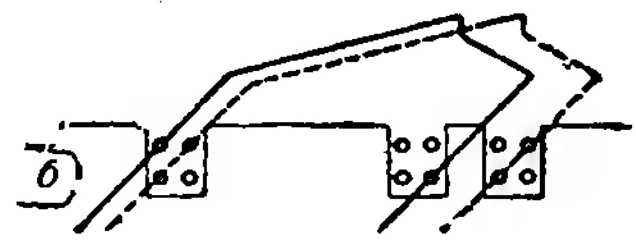


Рис. 13. Равносекционная (a) и ступенчатая ($б$) обмотки.

В петлевой обмотке конец витка, как было указано ранее, соединяется с началом следующего витка, расположенного рядом с исходным витком, поэтому результирующий шаг (y) (число промежутков между началами витков) для петлевой обмотки также равен 1

$$y = 1. \tag{8}$$

Второй шаг обмотки (y_2) определяется из ранее найденного соотношения между шагами [см. ф-лу (1)]

$$y_2 = y_1 - y. \tag{9}$$

Пример. Определить шаги обмотки четырехполюсной машины $2p = 4$. Число пазов якоря $Z = 18$, в каждом пазу $s_n = 2$ проводникам (рис. 14).

Так как в этом примере в пазу лежат только два проводника, то число коллекторных пластин и число элементарных пазов будут равны числу пазов якоря, т. е. 18.

По ф-ле (6) определяем первый шаг обмотки:

$$y_1 = \frac{K \mp b}{2p} = \frac{18 - 2}{4} = 4.$$

Для удобства вычерчивания схемы обмотки можно предварительно составить таблицу, из которой было бы видно, в какой последовательности следует соединять проводники (см. табл. 1).

В этой таблице проводники, связанные горизонтальными линиями, образуют секции, т. е. соединяются со стороны, противоположной коллектору; проводники, связанные наклонными линиями, соединяются со стороны коллектора.

При правильно вычисленных шагах мы должны в таблице охватить все верхние и нижние проводники и вернуться к исходному проводнику, т. е. обмотка должна замкнуться.

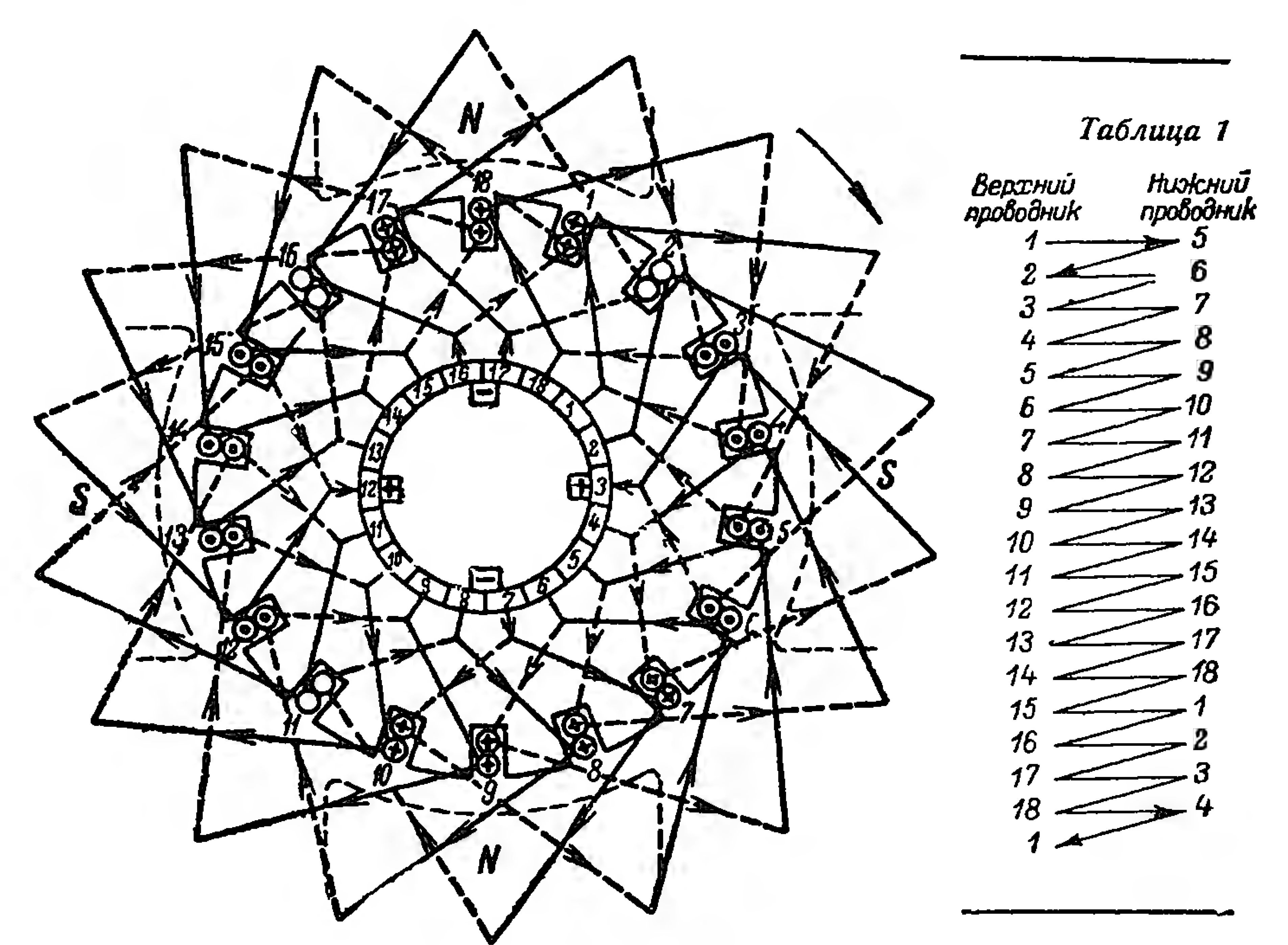


Таблица 1

Верхний проводник	Нижний проводник
1	5
2	6
3	7
4	8
5	9
6	10
7	11
8	12
9	13
10	14
11	15
12	16
13	17
14	18
15	1
16	2
17	3
18	4
1	

Рис. 14. Петлевая обмотка.

Б. Число параллельных ветвей обмотки

Число параллельных ветвей простой петлевой (параллельной) обмотки равно числу полюсов

$$2a = 2p. \qquad (10)$$

В этом можно убедиться, рассматривая рис. 15, на котором изображен якорь четырехполюсной машины с 12-ю пазами.

Действительно, начиная обход с проводника *1*, который лежит под левым краем верхнего северного полюса, можно заметить, что э. д. с. секций *1*, *2* и *3*, расположенных под северным полюсом, складываются; как только мы подойдем к секции *4*, расположенной под соседним южным полюсом, э. д. с. секций меняют свое направление на обратное. Э. д. с. секций *1*, *2*, *3* и секций *4*, *5*, *6* стремятся создать ток, направленный к коллекторной пластине *4*, а э. д. с. секций *7*, *8*, *9* и секций *10*, *11*, *12* — ток, направленный к коллекторной пластине *10*. На рис. 15

для ясности секции, образующие одну ветвь, показаны жирными линиями (секции *1*, *2* и *3*).

Щетки, наложенные на коллекторные пластины *4* и *10*, будут положительными, а щетки, наложенные на пластины *1* и *7*, — отрицательными.

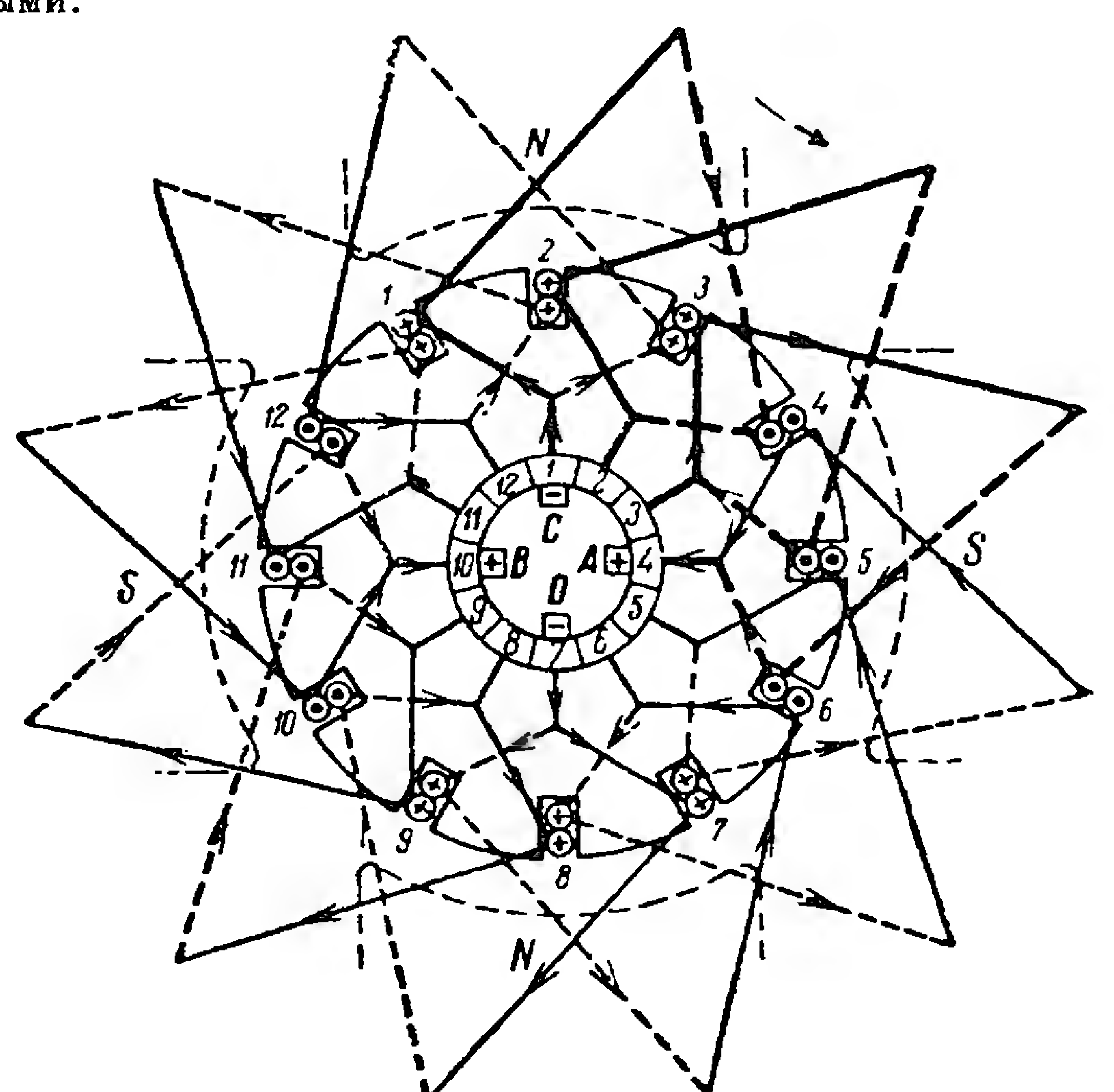


Рис. 15. Петлевая обмотка.

Таким образом вся обмотка якоря распадается на 4 параллельные ветви, проводники каждой из которых расположены под парой полюсов, причем под одним полюсом проводники занимают верхнюю часть паза, а под другим — нижнюю.

Ток поступает во внешнюю цепь из двух положительных щеток *A* и *B*, причем к каждой из этих щеток ток притекает из двух ветвей обмотки.

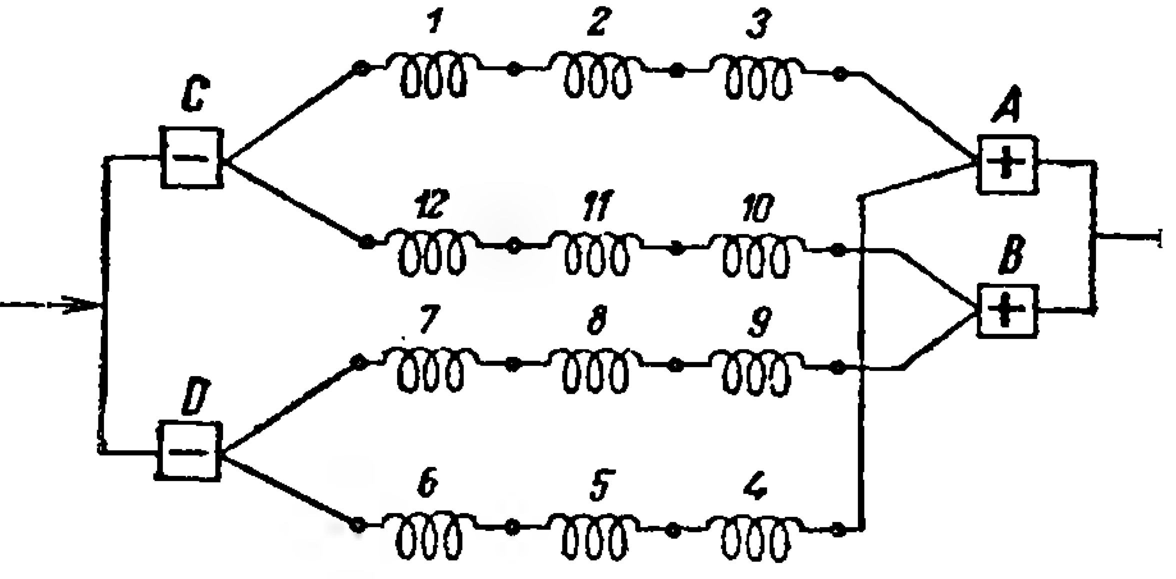


Рис. 16. Распределение секций по параллельным ветвям обмотки, изображенной на рис. 15.

На рис. 16 дана схема распределения секций по параллельным ветвям для рассмотренной обмотки. На этом рисунке секции показаны в виде катушек.

При петлевой обмотке число щеток на коллекторе равно числу полюсов машин. Если не наложить на коллектор щетки A, то из параллельных ветвей, подходящих к этой щетке, ток во внешнюю цепь не пойдет.

Из рассмотренного примера видно, что при барабанном якоре с петлевой обмоткой щетки расположены не между главными полюсами, как при кольцевых обмотках, а по оси главных полюсов. Это имеет место, как это видно будет из дальнейшего, не только при петлевой обмотке, но и при всех остальных типах обмоток барабанных якорей.

При таком расположении щеток, секции, замыкаемые ими накоротко, находятся в нейтральной зоне машины, где нет силовых линий и, следовательно, в них не индуктируется э. д. с. Наличие э. д. с. в секции, замкнутой накоротко щеткой, вызвало бы в ней большой силы ток, который привел бы к сильному искрению на коллекторе.

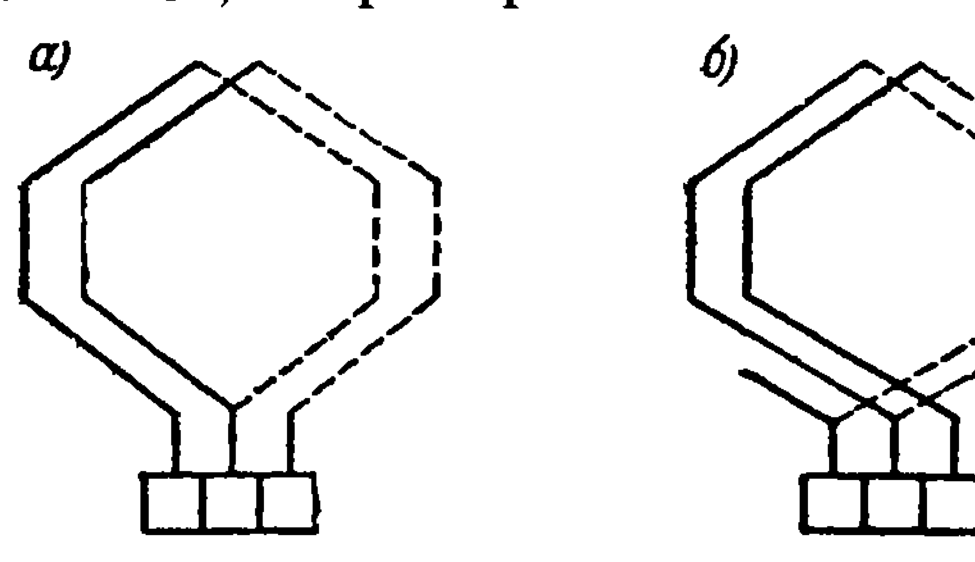


Рис. 17. Правая (*а*) и левая (*б*) петлевые обмотки.

Отметим еще одно обстоятельство. Осуществляя петлевую обмотку, мы, начиная обмотку с какой-либо секции, в дальнейшем перемещаемся к соседней; при этом можно соединить данную секцию с секцией, расположенной вправо или влево от исходной (рис. 17).

В первом случае при выполнении обмотки мы будем перемещаться по якорю вправо (по часовой стрелке), во втором случае — влево. В соответствии с направлением перемещения по якорю эти обмотки получили название п р а в о о б е г а ю щ е й и л е в о о б е г а ю щ е й, или п р а в о й и л е в о й.

При осуществлении соединения якоря с обмоткой добавочных полюсов компаундной и шунтовой обмотками полезно запомнить, что при правообегающей обмотке и направлении вращения якоря по часовой стрелке под южным полюсом расположена положительная щетка.

5. СЛОЖНО-ПЕТЛЕВАЯ

А. Число параллельных ветвей обмотки

В тех случаях, когда требуется увеличить число параллельных ветвей обмотки, например в низковольтных машинах с большой силой тока, применяют сложно-петлевую обмотку.

Эту обмотку можно представить себе как несколько простых петлевых обмоток, наложенных на один якорь и соединенных между собою параллельно щетками на коллекторе.

В выполненной таким образом обмотке число параллельных ветвей $2a$ будет равно числу параллельных ветвей каждой петлевой

обмотки, умноженному на число простых петлевых обмоток, из которых составлена данная сложно-петлевая обмотка.

Обозначим число простых петлевых обмоток, составляющих сложно-петлевую обмотку, через m. Каждая петлевая обмотка, согласно предыдущему, имеет число параллельных ветвей, равное числу полюсов машины, т. е. $2p$. Следовательно число параллельных ветвей сложно-петлевой обмотки будет в m раз больше и равно:

$$2a = 2pm. \tag{11}$$

Подробное рассмотрение сложно-петлевых обмоток показывает, что они могут хорошо работать только в том случае, если число составляющих их простых петлевых обмоток m не больше двух. При несоблюдении этого условия э. д. с. параллельных ветвей обмотки не будут равны друг другу, вследствие чего по обмотке будет циркулировать ток при разомкнутой внешней цепи.

Б. Шаги обмотки

Шаги сложно-петлевой обмотки можно определить, исходя из следующих соображений. Представим себе, что мы имеем наложенную

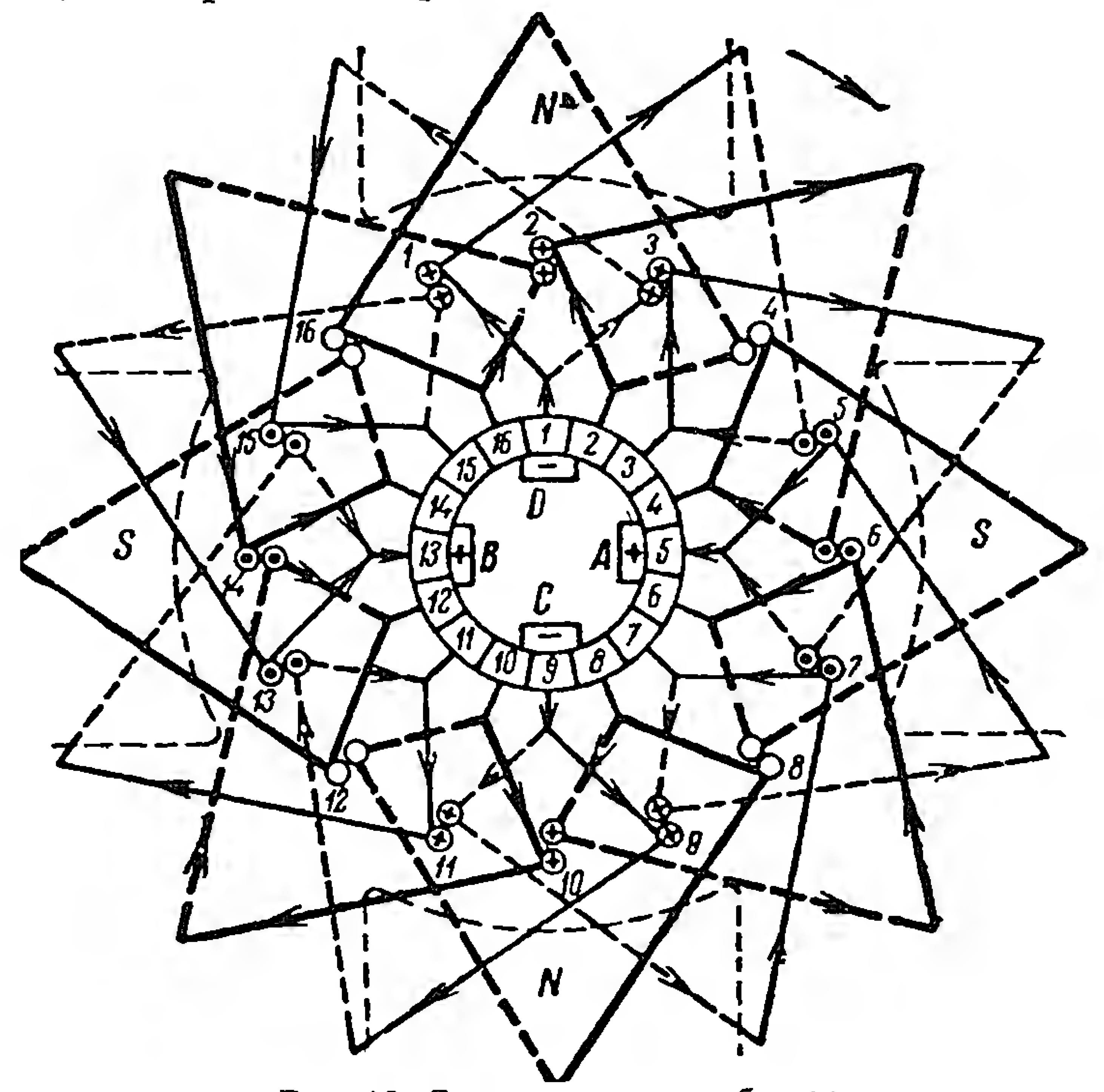


Рис. 18. Сложно-петлевая обмотка.

на якорь простую петлевую обмотку, для которой шаг по коллектору $y_к = 1$ и результирующий шаг y также равен единице. Для размеще-

ния остальных $m - 1$ простых петлевых обмоток, составляющих данную сложно-петлевую обмотку, необходимо секционные стороны и коллекторные пластины этой петлевой обмотки раздвинуть таким образом, чтобы между ними можно было разместить $m - 1$ добавочных секционных сторон и $m - 1$ добавочных коллекторных пластин; при этом число коллекторных пластин между началом и концом секции, т. е. шаг по коллектору, увеличится и станет равным m. То же самое можно сказать и относительно результирующего шага.

Таким образом для сложно-петлевой обмотки результирующий шаг по якорю

$$y = m \tag{12}$$

и шаг по коллектору

$$y_к = m. \tag{13}$$



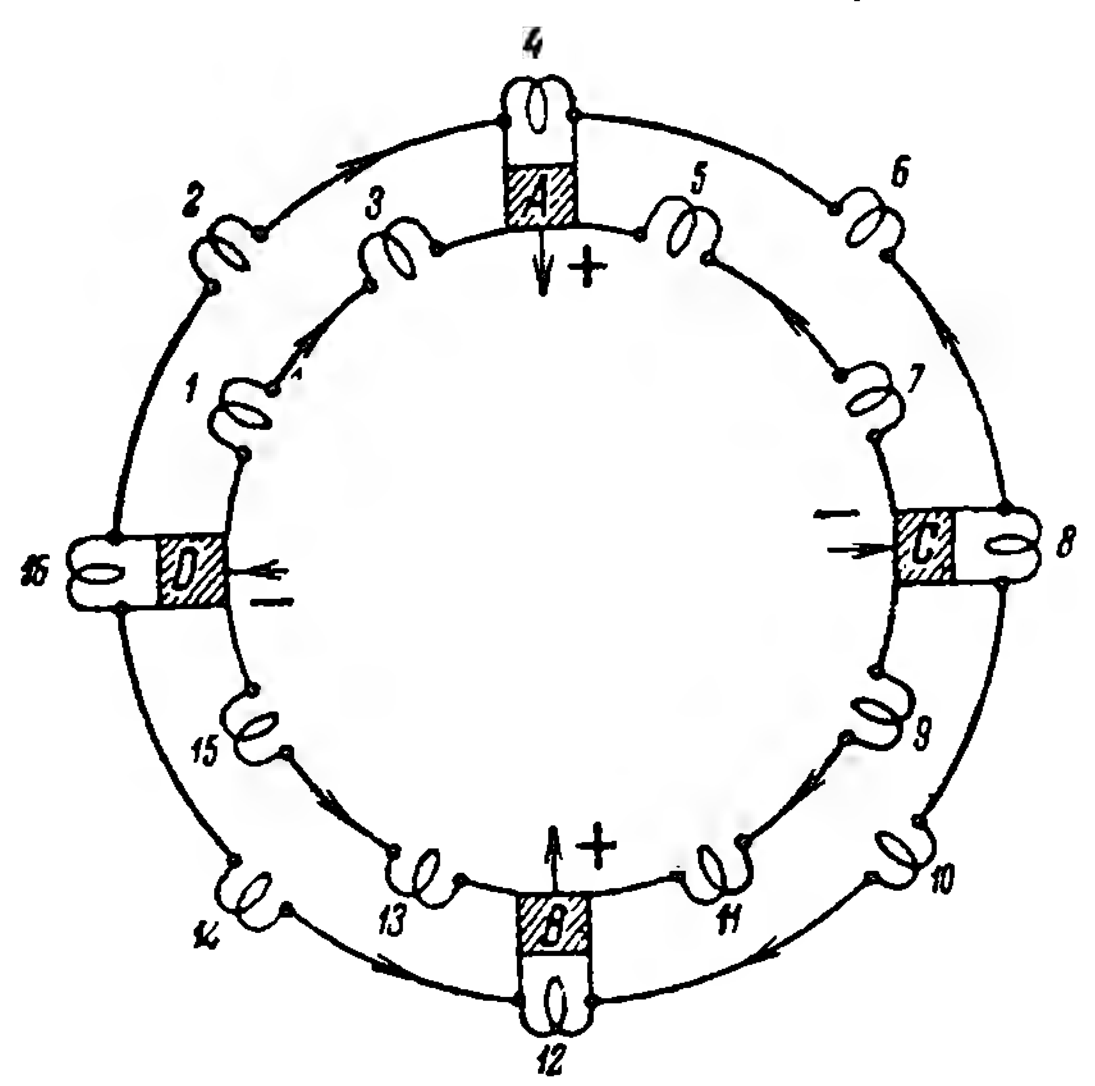


Рис. 19. Распределение секций по параллельным ветвям обмотки, изображенной на рис. 18.

Первый шаг обмотки y_1, т. е. расстояние между сторонами витка со стороны, противоположной коллектору, и для сложно-петлевой обмотки, по возможности, должен быть ближе к полюсному делению и, следовательно, равен

$$y_1 = \frac{K \mp b}{2p}, \tag{14}$$

где b, так же как и в ф-ле (6), — наименьшее число, которое необходимо подставить в выражение для того, чтобы получить целое число.

На рис. 18 изображена схема сложно-петлевой обмотки для якоря четырехполюсной машины, у которого число пазов $Z = 16$ и в каждом пазу $s_n = 2$ проводника.

Шаги обмотки при этом следующие:

$$y_1 = \frac{K - b}{2p} = \frac{16}{4} = 4; \quad b = 0;$$

$$y = 2$$

и

$$y_2 = y_1 - y = 4 - 2 = 2.$$

При внимательном рассмотрении схемы обмотки нетрудно убедиться, что обмотка имеет $2a = 8$ параллельных ветвей. На рис. 18 жирными линиями показана одна из составляющих обмоток.

Распределение секций по параллельным ветвям схематически представлено на рис. 19.

Секции 4, 8, 12 и 16 для момента, изображенного на рис. 18, лежат в нейтральной зоне и замкнуты накоротко щетками. Из рис. 19 видно, что к каждой положительной щетке ток поступает из четырех параллельных ветвей. Таким образом во внешнюю цепь он поступает из 8 ветвей.

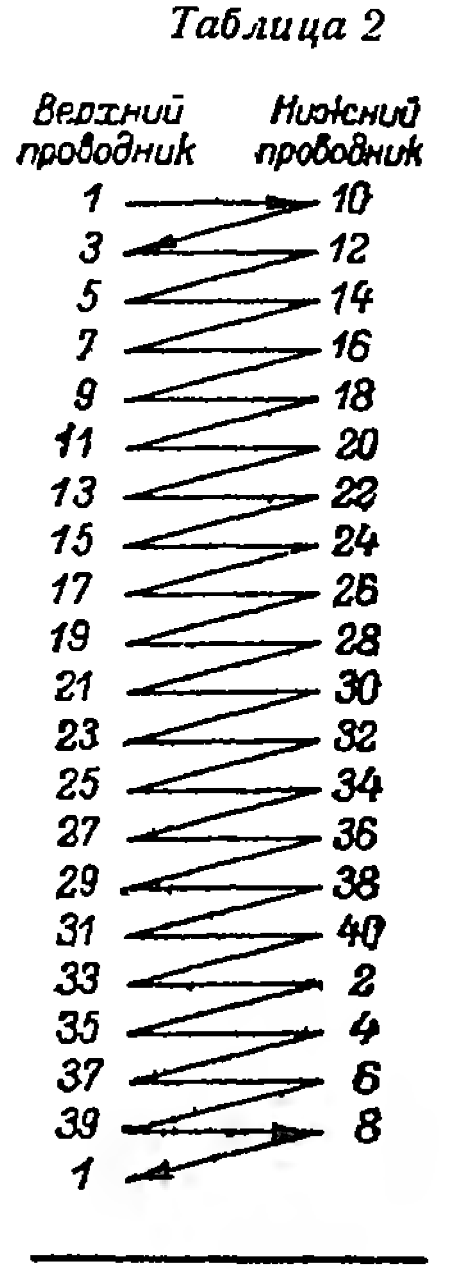
Сложно-петлевые обмотки, как следует из углубленного теоретического изучения их, должны выполняться ступенчатыми.

Пример. Вычислить шаги для сложно-петлевой обмотки при $2a = 8$. Число полюсов машины $2p = 4$, т. е. обмотка состоит из двух простых петлевых обмоток ($m = 2$), число пазов якоря $Z = 20$, число проводников в пазу $s_n = 4$.

Число коллекторных пластин обмотки K равно числу проводников N, деленному на 2, т. е.

$$K = \frac{N}{2} = \frac{s_n \cdot Z}{2} = \frac{4 \cdot 20}{2} = 40.$$

Таблица 2



Первый шаг обмотки по элементарным пазам

$$y_1 = \frac{K \mp b}{2p} = \frac{40 - 4}{4} = 9.$$

Первый шаг обмотки по элементарным пазам можно было бы взять равным 10, но в этом случае обмотка не была бы ступенчатой. Действительно, при шаге

$$y_1 = 10$$

1-й проводник необходимо было бы соединить с проводником $1 + 10 = 11$, который лежит в нижнем слое 6-го паза у левой стенки паза; 2-й проводник, лежащий также вверху 1-го паза, соединялся бы с 12-м проводником, расположенным в нижнем слое 6-го паза, у правой его стенки, т. е. секции *1* и *2*, расположенные вместе в 1-м пазу, лежали бы вместе и в 6-м пазу.

Шаг по коллектору и результирующий шаг обмотки равны:

$$y_к = y = m = 2.$$

Второй шаг обмотки по элементарным пазам

$$y_2 = y_1 - y = 9 - 2 = 7.$$

Согласно полученным шагам обмотки, соединение секционных сторон (проводников) следует вести в следующем порядке, указанном в табл. 2.

Из этой таблицы видно, что, охватив половину общего числа проводников (40), обмотка замкнулась; оставшиеся 40 проводников дадут вторую петлевую обмотку.

6. ПРОСТАЯ ВОЛНОВАЯ ОБМОТКА

А. Шаги обмотки

Как было указано ранее, при выполнении волновой обмотки последовательно соединяются секции, расположенные под соседними

парами полюсов. На рис. 20 приведены примеры выполнения волновой обмотки для 4- и 6-полюсных машин, из которых видно, что, для того чтобы обойти вокруг якоря, в 4-полюсной машине необходимо сделать два шага и соединить две секции последовательно, в 6-полюсной машине необходимо сделать три шага и соединить три секции последовательно. После одного обхода вокруг якоря, для того чтобы обмотка не замкнулась, мы подходим к проводнику и коллекторной пластине, расположенным рядом с исходными, и начинаем следующий обход вокруг якоря и т. д.

Из сказанного можно сделать следующие выводы:

1) одному обходу вокруг якоря в волновой обмотке соответствует число шагов, равное числу пар полюсов p;

2) за один обход вокруг якоря, считая от 1-й секционной стороны (исходной), мы перемещаемся на число элементарных пазов по якорю,

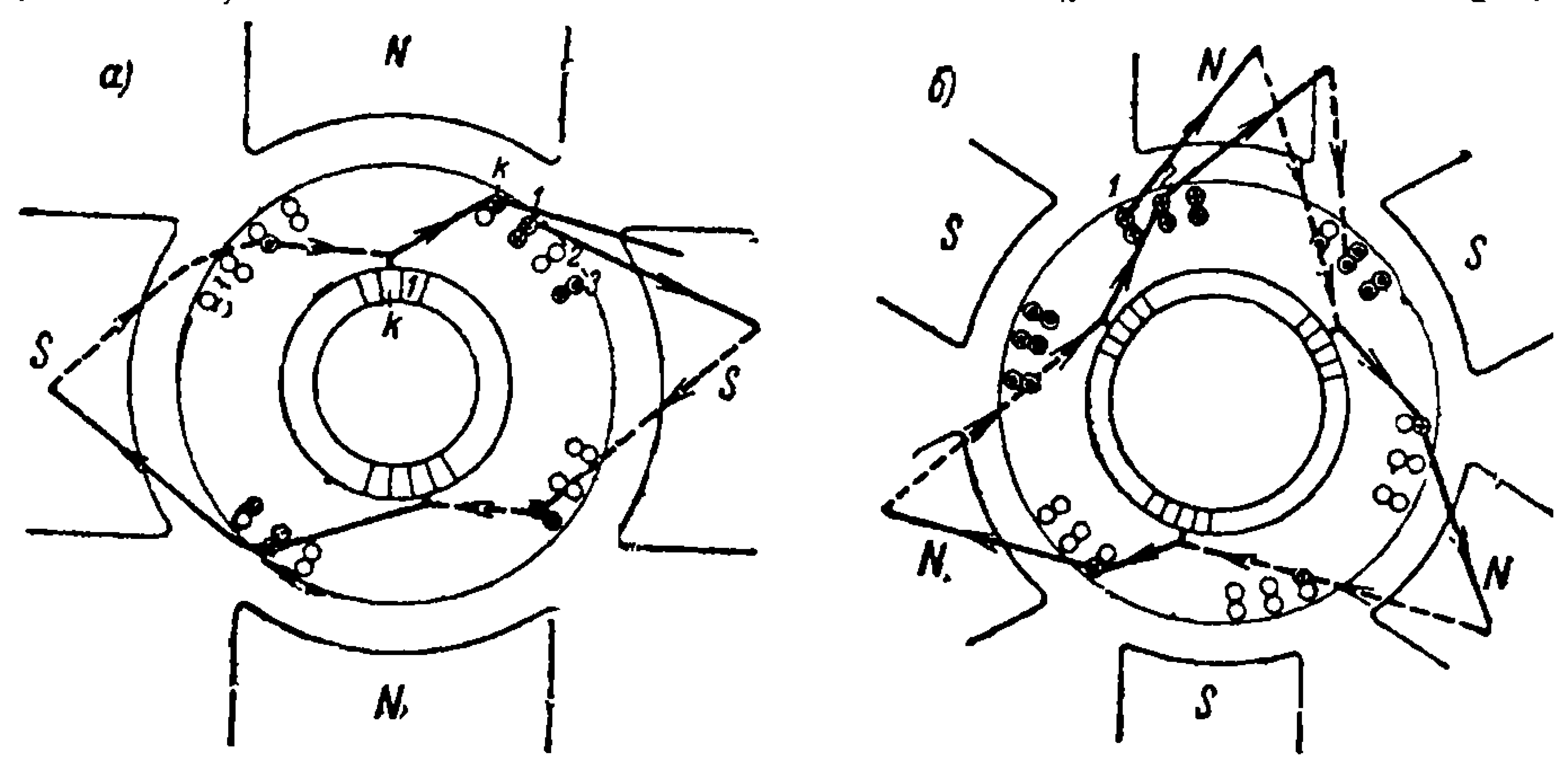


Рис. 20. Простые волновые обмотки.

равное общему числу элементарных пазов по окружности якоря ∓ 1, т. е. на число элементарных пазов, равное $K \mp 1$,[1] где знак (—) берется в тех случаях, когда при одном обходе вокруг якоря мы не доходим на один промежуток до исходной секционной стороны (см. рис. 20, *а*), а знак (+), когда переходим на один промежуток исходную секционную сторону (см. рис. 20, *б*).

Те же самые выводы можно сделать и в отношении одного обхода вокруг коллектора, т. е. для того, чтобы один раз обойти вокруг коллектора при следовании по схеме обмотки, необходимо сделать p шагов и при этом переместиться на $K \mp 1$ коллекторную пластину.

Для определения шага обмотки можно воспользоваться полученными выводами. Действительно, за p шагов обмотки мы перемещаемся на $K \mp 1$ промежутков по якорю, т. е.

$$yp = K \mp 1,$$

откуда

$$y = \frac{K \mp 1}{p}. \tag{15}$$

[1] Число элементарных пазов равно числу коллекторных пластин K.

Из этого выражения видно, что результирующий шаг обмотки равняется примерно числу промежутков между элементарными пазами, приходящихся на два полюса.

Если на якоре 4-полюсной машины имеется 19 секций, тогда на два полюса приходится число промежутков, равное

$$\frac{S}{p} = \frac{19}{2} = 9^1/_2;$$

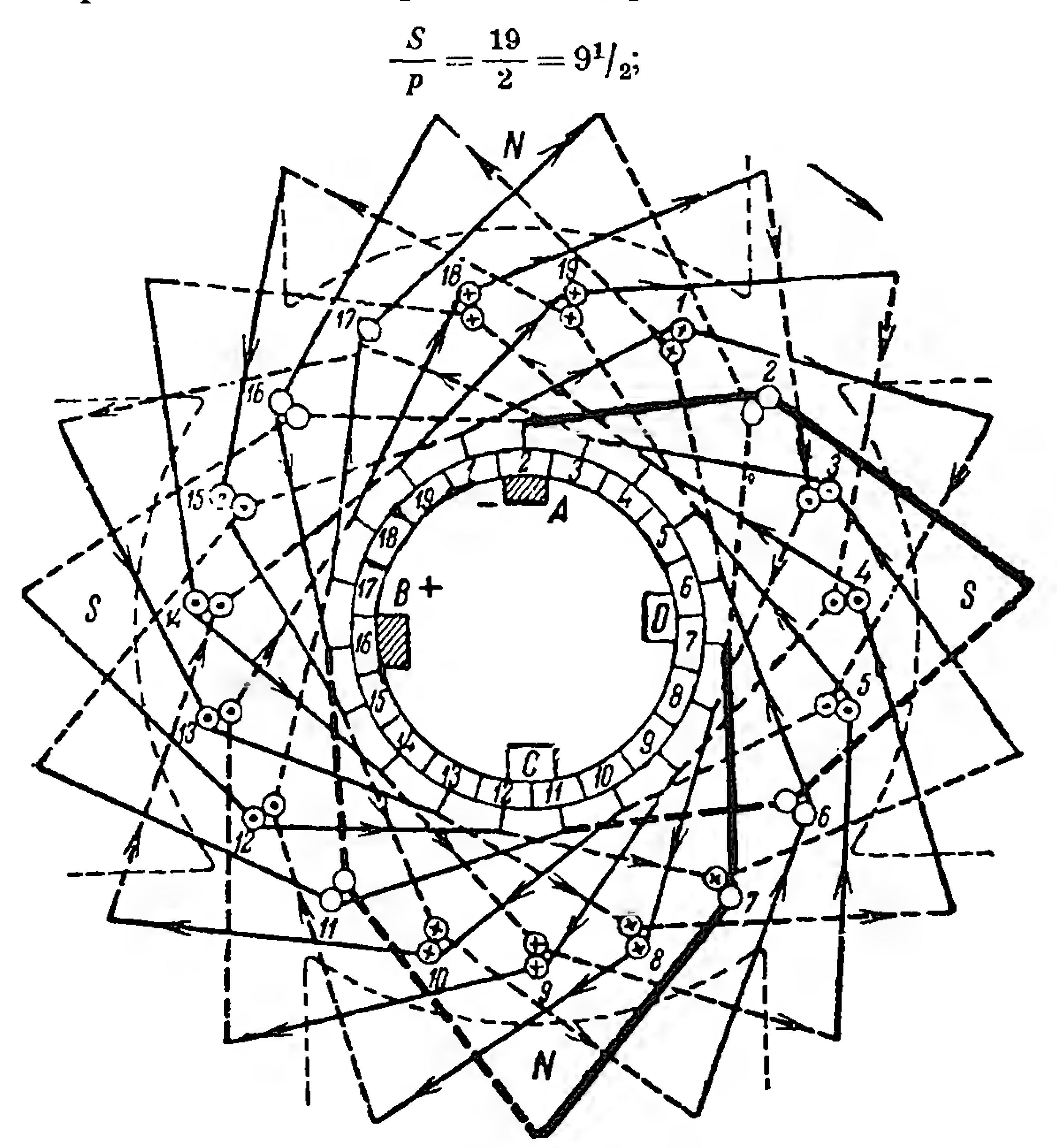


Рис. 21. Простая волновая обмотка.

результирующий же шаг обмотки берем равным

$$y = \frac{19 \mp 1}{2} = 9 \text{ или } 10,$$

т. е. близкий к $9^1/_2$.

Так как первый шаг обмотки (y_1), т. е. ширина секции, должен равняться примерно числу промежутков, приходящихся на один полюс, то y_1 равняется приблизительно половине результирующего шага:

$$y_1 \approx \frac{y}{2};$$

при этом для y_1 берут ближайшее целое число.

Но результирующий шаг равен сумме первого и второго шагов:

$$y = y_1 + y_2;$$

откуда

$$y_2 = y - y_1.$$

При одном обходе по якорю мы одновременно делаем один обход и по коллектору и поэтому число шагов по якорю равно числу шагов по коллектору, и выражение для шага по коллектору ($y_к$) будет таким же, как и для шага по элементарным впадинам (y):

$$y_к = \frac{K \mp 1}{p}. \qquad (16)$$

В нашем примере

$$y_1 = \frac{9 \text{ или } 10}{2},$$

т. е. y_1 придется взять равным 4 или 5;

$$y_2 = y - y_1 = 9 - (4 \text{ или } 5) = 5 \text{ или } 4$$

и

$$y_к = \frac{K \mp 1}{p} = \frac{19 \mp 1}{2} = 9 \text{ или } 10.$$

На рис. 21 показана схема этой обмотки, если принять шаги обмотки:

$$y = 9, \ y_1 = 4 \ \text{ и } \ y_2 = 5.$$

Б. Число параллельных ветвей волновой обмотки

Число параллельных ветвей простой волновой обмотки при любом числе полюсов машины равно 2:

$$2a = 2. \qquad (17)$$

К этому выводу можно притти, рассматривая рис. 21. Начиная обход по якорю с секции *1*, лежащей под правым краем верхнего северного полюса, мы при каждом обходе будем смещаться на один промежуток влево от начала секции *1*, т. е. второй обход по якорю начнем с верхней стороны секции *19*, третий обход — с секции *18* и т. д.

Э. д. с. всех секций, попадающих в один обход по якорю, складываются между собой, а э. д. с. отдельных обходов будут складываться только до тех пор, пока секционная сторона нового обхода (секция *16*) не попадет под правый край соседнего южного полюса.

При этих обходах, т. е. обходах с началами в секциях *1*, *19*, *18*, *17*, мы заняли все верхние секционные стороны, лежащие под северными полюсами (так как начала секций лежат вверху паза), и все нижние секционные стороны, лежащие под южными полюсами (так как концы секций лежат внизу паза), другими словами, мы обошли половину обмотки якоря.

Обходя якорь дальше, мы увидим, что, начиная с верхней стороны секции *16* и кончая верхней стороной секции *13*, т. е. когда начала обходов лежат под соседним южным полюсом, э. д. с. всех секций каждого обхода и э. д. с. обходов будут складываться. Отличие от пре-

дыдущих обходов будет заключаться только в том, что направления э. д. с. этих обходов будут противоположны э. д. с. прежних обходов.

Очевидно, что последними обходами мы прошли все верхние секционные стороны, которые лежат под южными полюсами, и все нижние секционные стороны, которые лежат под северными полюсами, т. е., другими словами, прошли вторую половину обмотки.

При положении якоря, изображенном на рис. 21, видно, что э. д. с. обеих половин обмотки расходятся от коллекторной пластины *2* и сходятся в коллекторной пластине *16*.

Если на эти коллекторные пластины наложить щетки, то по отношению к ним обе половины обмотки будут включены параллельно.

Таким образом простая волновая обмотка имеет две параллельные ветви, и для отвода тока достаточно только двух щеток, например *A* и *B*, отстоящих друг от друга на одно полюсное деление. На практике для уменьшения размеров щеток и коллектора накладывают на коллектор число щеток, равное числу полюсов машины. При наложении дополнительных щеток *C* и *D* свойства обмотки не нарушаются, так как

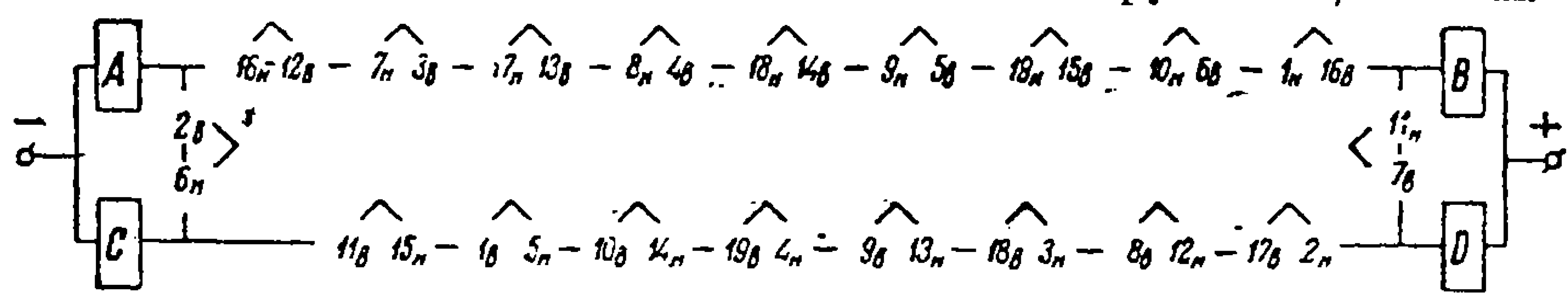


Рис. 22. Схема распределения секций по параллельным ветвям волновой обмотки, изображенной на рис. 21.

щетки *C* и *D* соединяются со щетками *A* и *B* только одним элементом обмотки, т. е. одной секцией. Щетка *C* соединяется со щеткой *A* секцией, состоящей из проводников $2_в$ и $6_н$, а щетка *D* — секцией, состоящей из проводников $7_в$ и $11_н$, со щеткой *B*, причем обе эти секции лежат в междуполюсном промежутке, т. е. они не участвуют в образовании э. д. с.

На рис. 22 дана схема распределения секций по параллельным ветвям.

На схеме распределения секций по параллельным ветвям проводники, образующие витки, соединены между собой знаком ∧. Из этой схемы видно, что одноименные щетки соединены между собой секцией, и если снять одну из щеток, например *D*, то все же ток будет поступать во внешнюю цепь из всей обмотки якоря. Ток из параллельной ветви при этом будет попадать в щетку *B* через секцию $\widehat{7_в\ 11_н}$.

7. СЛОЖНО-ВОЛНОВАЯ ОБМОТКА

А. Число параллельных ветвей обмотки

Сложно-волновая обмотка представляет собой ряд волновых обмоток, уложенных в пазы одного якоря. Так как каждая волновая обмотка имеет две параллельные ветви, то сложно-волновая обмотка будет иметь число параллельных ветвей, равное

$$2a = 2m,$$

где m есть число простых волновых обмоток, составляющих данную сложно-волновую обмотку.

Таким образом число параллельных ветвей сложно-волновой обмотки не связано с числом полюсов машины.

Б. Шаги обмотки

В простой волновой обмотке, сделав число шагов обмотки равным числу пар полюсов машины, мы один раз обходили вокруг якоря и подходили к секционной стороне, лежащей рядом с исходной, и далее продолжали обходы вокруг якоря. В сложно-волновой обмотке мы между исходной секционной стороной и началом следующего обхода должны оставить $m - 1$ свободных секционных сторон, которые будут заняты остальными $m - 1$ простыми волновыми обмотками. Таким образом после p шагов мы охватим все элементарные пазы, расположенные на окружности якоря $\mp m$ элементарных пазов (знак зависит от того, дойдем ли мы при одном обходе до исходной секционной стороны или перейдем ее).

На основании сказанного можно написать следующее равенство, из которого определяется результирующий шаг обмотки по элементарным пазам:

$$yp = S \mp m = S \mp a = K \mp a,$$

откуда результирующий шаг обмотки

$$y = \frac{K \mp a}{p}. \quad (18)$$

Шаг по коллектору определяют, исходя из аналогичных рассуждений, по формуле:

$$y_к = \frac{K \mp a}{p}. \quad (19)$$

Сумма первого и второго шага обмотки равна $y_1 + y_2 = y$, и каждый из них в отдельности равен:

$$y_1 \approx \frac{y}{2};$$

$$y_2 = y - y_1.$$

Пример. Определить шаги сложно-волновой обмотки при $2a = 4$, числе полюсов машины $2p = 6$, числе пазов $Z = 26$, в каждом пазу по $s_n = 4$ проводника.

Число коллекторных пластин

$$K = \frac{N}{2} = \frac{s_n Z}{2} = \frac{4 \cdot 26}{2} = 52.$$

Результирующий шаг обмотки

$$y = \frac{K \mp a}{p} = \frac{52 + 2}{3} = 18.$$

Первый шаг обмотки

$$y_1 = \frac{y}{2} = \frac{18}{2} = 9.$$

Второй шаг обмотки

$$y_2 = y - y_1 = 18 - 9 = 9.$$

Шаг по коллектору $y_к$ равняется результирующему шагу обмотки, т. е. равен 18:

$$y_к = 18.$$

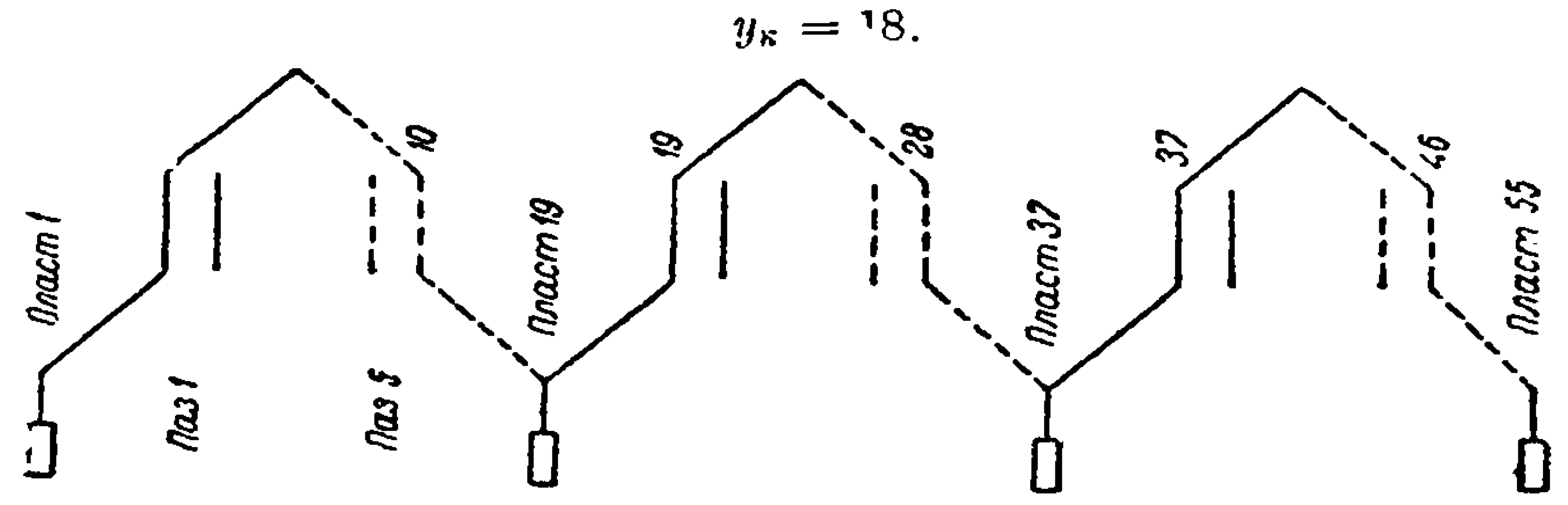


Рис. 23. Один обход простой волновой обмотки.

Порядок соединения проводников, соответствующий вычисленным шагам обмотки, следующий: $1_в - 10_н - 19_в - 28_н - 37_в$ и т. д. На рис. 23 показан один обход обмотки якоря в развернутом виде. В табл. 3 приведены формулы для вычисления шагов обмоток.

Таблица 3

Формулы для шагов обмоток

Род обмотки	Шаги обмотки				Число параллельных ветвей
	результирующий шаг y	первый шаг y_1	второй шаг y_2	шаг по коллектору $y_к$	
Простая петлевая	$y = 1$	$y_1 = \frac{K \mp b}{2p}$	$y_2 = y_1 \mp 1$	$y_к = 1$	$2a = 2p$
Сложно-петлевая	$y = m$	$y_1 = \frac{K \mp b}{2p}$	$y_2 = y_1 \mp m$	$y_к = m$	$2a = 2mp$
Простая волновая	$y = \frac{K \mp 1}{p}$	$y_1 \approx \frac{y}{2}$	$y_2 = y - y_1$	$y_к = y = \frac{K \mp 1}{p}$	$2a = 2$
Сложно-волновая	$y = \frac{K \mp a}{p}$	$y_1 \approx \frac{y}{2}$	$y_2 = y - y_1$	$y_к = \frac{K \mp a}{p}$	$2a = 2m$

В. Волновые обмотки с мертвыми секциями

Формулу для результирующего шага и шага по коллектору волновой обмотки

$$y = y_к = \frac{K \mp a}{p}$$

можно переписать в таком виде:

$$y = y_к = \frac{Z\frac{s_n}{2} \mp a}{p}, \qquad (20)$$

где, согласно принятым обозначениям, s_n — число секционных сторон в пазу, Z — число пазов; тогда $K = \frac{Z \cdot s_n}{2}$.

Для простой волновой обмотки $a = 1$ ф-ла (20) принимает такой вид:

$$y = y_к = \frac{\frac{Z \cdot s_n}{2} \mp 1}{p}.$$

Из этой формулы видно, что для того чтобы при четырехполюсной машине ($p = 2$) шаг полу ился целым целым числом при нечетном числе пазов Z, число секционных сторон в пазу, деленное на два, должно быть также числом нечетным ($\frac{s_n}{2}$ может равняться 1, 3, 5); только при этом условии числитель формулы разделится на 2. При четном же числе пазов для шага обмотки мы получим дробное число, т. е. она невыполнима.

Пример. Число пазов $Z = 20$. Число секционных сторон в пазу $s_n = 2$. Число полюсов $2p = 4$.

Число коллекторных пластин обмотки $K = \frac{s_n Z}{2} = \frac{2 \cdot 20}{2} = 20$.

Шаг по коллектору и результирующий шаг обмотки

$$y = y_к = \frac{K \mp 1}{p} = \frac{20 \mp 1}{2}$$

не равны целому числу, т. е. обмотка невыполнима.

Практически при расчете небольших 4-полюсных машин по ряду соображений, о которых будет упомянуто позднее, приходится применять простые волновые обмотки; в этих случаях для осуществления обмотки поступают следующим образом: одну секцию обмотки оставляют свободной (не присоединяют ее к коллектору), число же коллекторных пластин коллектора уменьшают на одну пластину.

В приведенном выше примере при 20 пазах на якоре и 2-х проводниках в пазу следует взять коллектор с 19-ю коллекторными пластинами. Число секций обмотки, присоединенных к коллектору, будет равно 19, а одна секция не присоединяется к коллектору. Секцию, не присоединенную к коллектору, называют м е р т в о й секцией.

Шаги обмотки при этом будут следующие:

$$y = y_к = \frac{K - 1}{p} = \frac{19 - 1}{2} = 9;$$

$$y_1 = 4; \quad y_2 = y - y_1 = 9 - 4 = 5.$$

При выполнении такой обмотки предварительно заготовляют 20 секций и укладывают их в пазы якоря, причем расстояние между сторонами секций должно равняться 4-м пазовым делениям. Затем

у одной из секций обрезают концы, которые должны были бы присоединяться к коллектору, остальные 19 секций соединяют между собой последовательно в соответствии с шагом по коллектору.

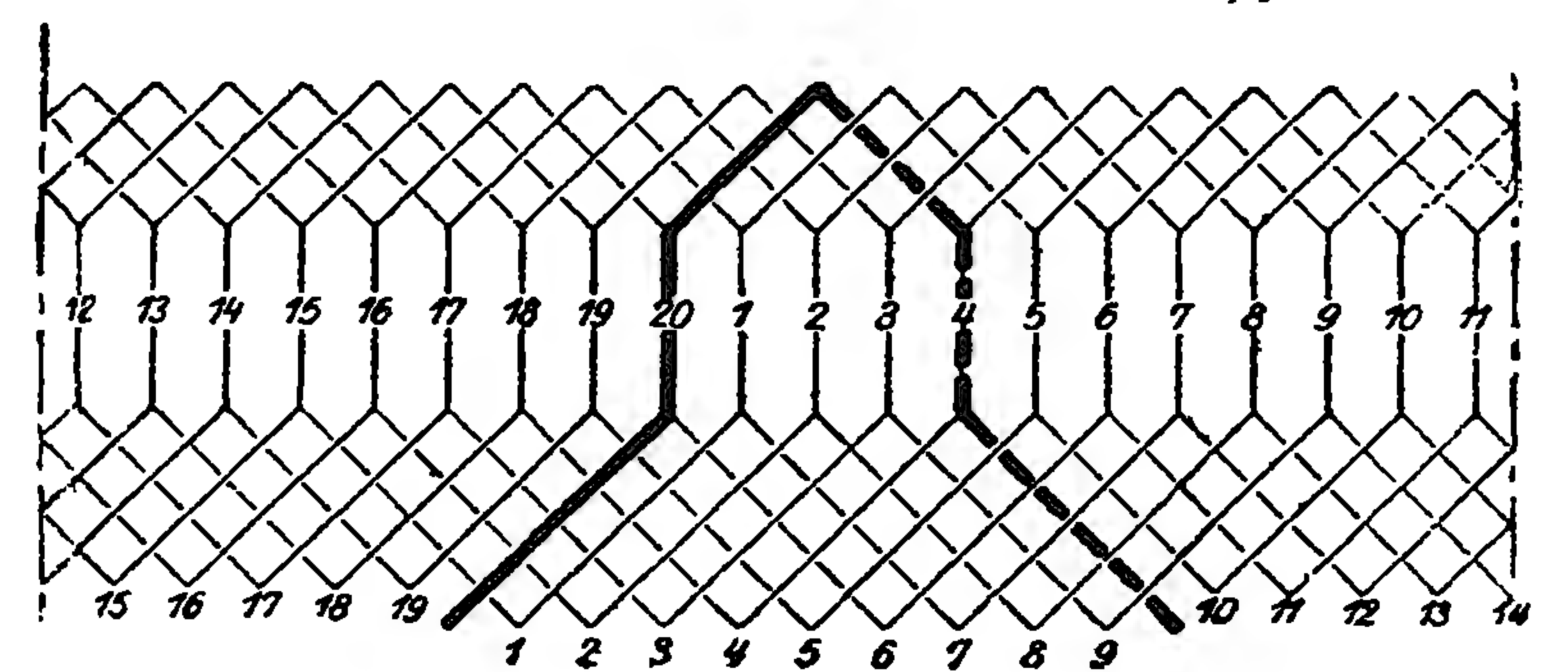


Рис. 24. Волновая обмотка с мертвой секцией.

На рис. 24 изображена схема обмотки. Мертвая секция выделена жирными линиями.

Г. Искусственно-замкнутая волновая обмотка

В тех случаях, когда имеется готовый якорь с коллектором, число коллекторных пластин которого не позволяет осуществить волновую обмотку, а по расчету она необходима, применяют искусственно-замкнутую волновую обмотку.

Сущность искусственно - замкнутой обмотки можно представить себе из следующего примера.

Допустим, что имеется якорь со следующими данными: $2p = 4$, $Z = 9$, $s_n = 2$ и $K = 9$.

Шаги обмотки этого якоря будут следующие:

$$y_к = y = \frac{K \mp 1}{p} = \frac{9-1}{2} = 4;$$

$$y_1 = 2, \quad y_2 = 2.$$

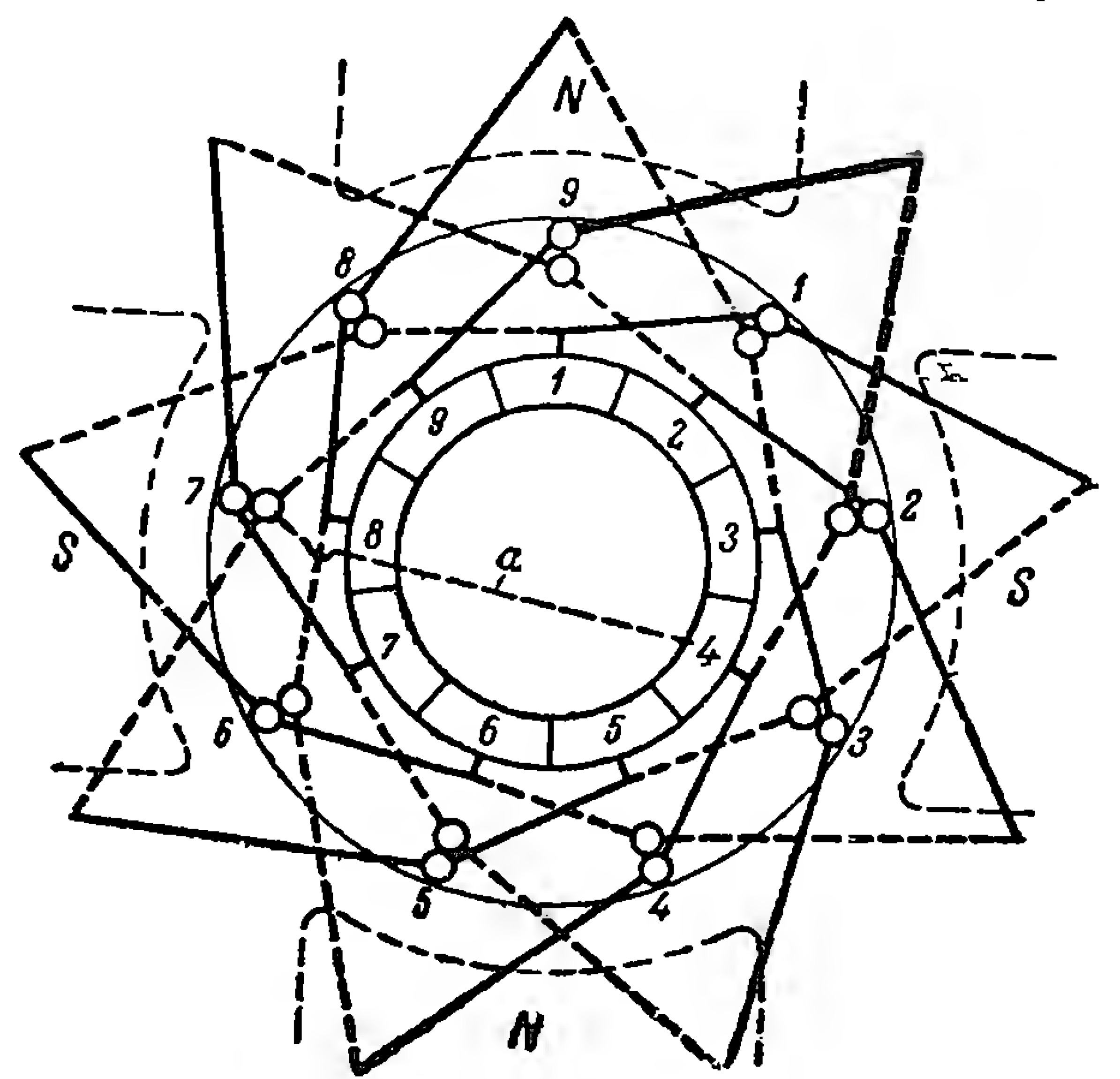


Рис. 25. Переход от простой волновой к искусственно-замкнутой волновой обмотке.

На рис. 25 изображена обмотка этого якоря. Далее допустим, что у нас имеется другой якорь с числом пазов $Z = 8$, а не 9, и соот-

ветственно с числом коллекторных пластин $K = 8$. Обмотку такого якоря мы можем получить из предыдущей, если одну коллекторную пластину *9* и одну секцию, показанную на рис. 25 жирной линией, не нарушая схемы, заменим проводником *a*, как это показано на рис. 26, и затем мысленно сдвинем проводники, лежащие в нижнем слое 9-го и 1-го паза на один паз вправо таким образом, чтобы проводник, лежащий внизу 1-го паза, попал в низ 2-го паза, а проводник, лежащий внизу 9-го паза, попал в низ 1-го паза. Этим сдвигом мы освободим 9-й паз. Полученная таким способом обмотка (рис. 26) и будет искусственно-замкнутой волновой обмоткой.

Из предыдущего следует, что при выполнении искусственно-замкнутой обмотки необходимо поступать следующим образом: мысленно представить себе, что коллектор имеет на одну коллекторную пластину больше действительного числа коллекторных пластин и соответственно якорь имеет на одну секцию больше действительного числа секций; определить, исходя из этого предположения, шаги, а затем лишние коллекторную пластину и секцию заменить одним проводником.

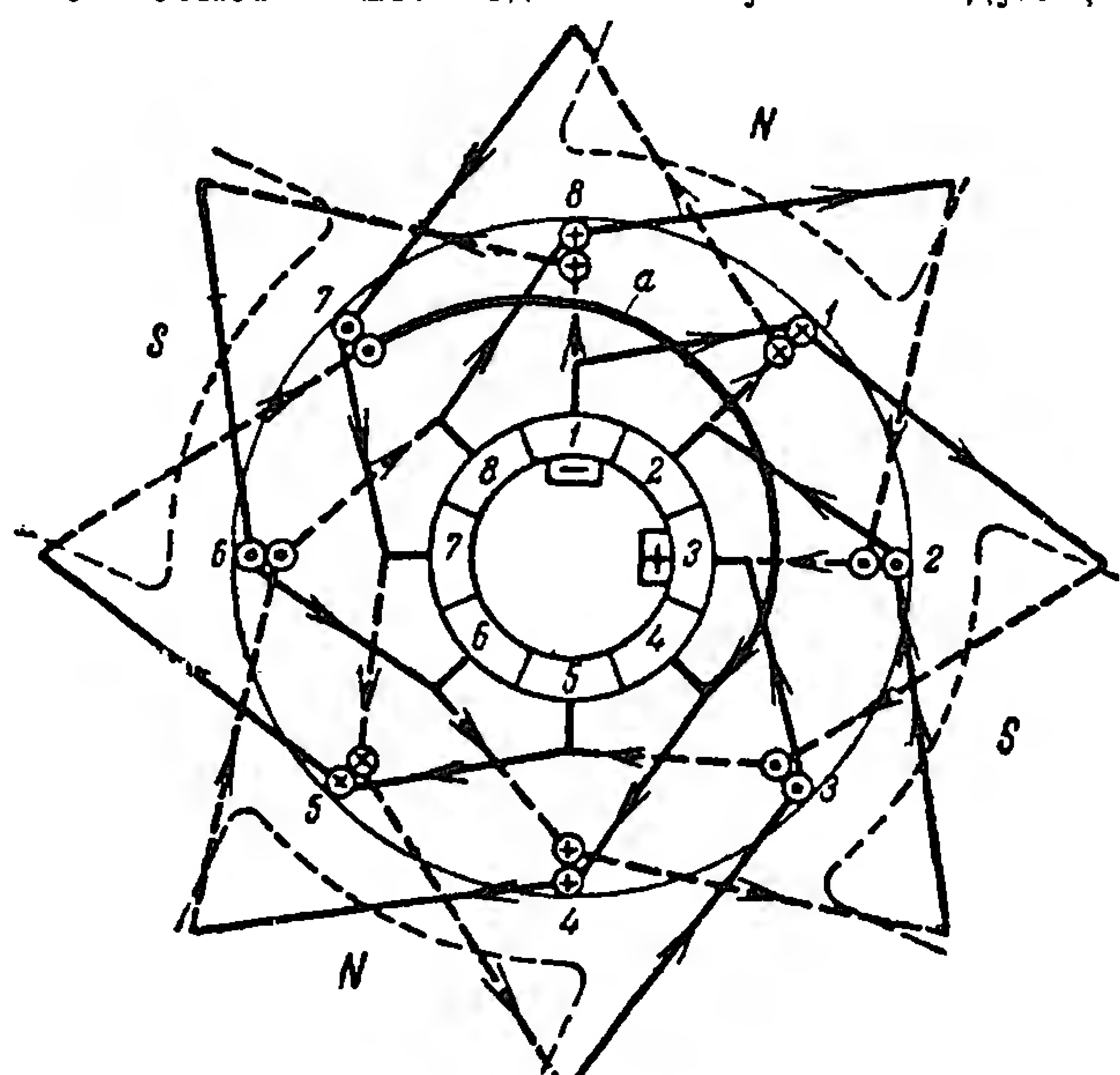


Рис. 26. Искусственно-замкнутая волновая обмотка.

Пример. Вычислить шаги для искусственно-замкнутой волновой обмотки

$$Z = 20, \quad s_n = 2,$$

$$K = \frac{s_n Z}{2} = \frac{2 \cdot 20}{2} = 20, \quad 2p = 4.$$

Вычисляем шаги обмотки для числа коллекторных пластин $K + 1 = 20 + 1 = 21$, как это было указано ранее:

$$y = \frac{(K+1) - 1}{p} = \frac{20 + 1 - 1}{2} = 10;$$

$$y_1 = 5; \quad y_2 = 5.$$

Согласно полученным шагам, секционные стороны и коллекторные пластины нужно соединять в следующей последовательности:

$$1 \text{ пласт.} - 1_в - 6_н - 11 \text{ пласт.} - 11_в - 16_н \rightarrow 21 \text{ пласт.} -$$

$$- 21_в - 5_н \rightarrow 10 \text{ пласт.} - 10_в - 15_н - \text{и т. д.}$$

Так как фактически коллекторная пластина *21* и секция *21*, состоящая из проводников $21_в$ и $5_н$, отсутствуют, то мы заменяем их проводником, соединяя им нижний проводник *16* с коллекторной пластиной *10*.

Это изображено на рис. 27.

Дальнейшие соединения производим по схеме, от коллекторной пластины *10* идем к началу секции *10*, которую соединяем с секцией *20*, и т. д. (см. схему рис. 27).

При выполнении этой обмотки необходимо отметить одно чрезвычайно важное обстоятельство: благодаря тому, что коллекторная пластина *21* фактически не существует, шаги по коллектору для этой

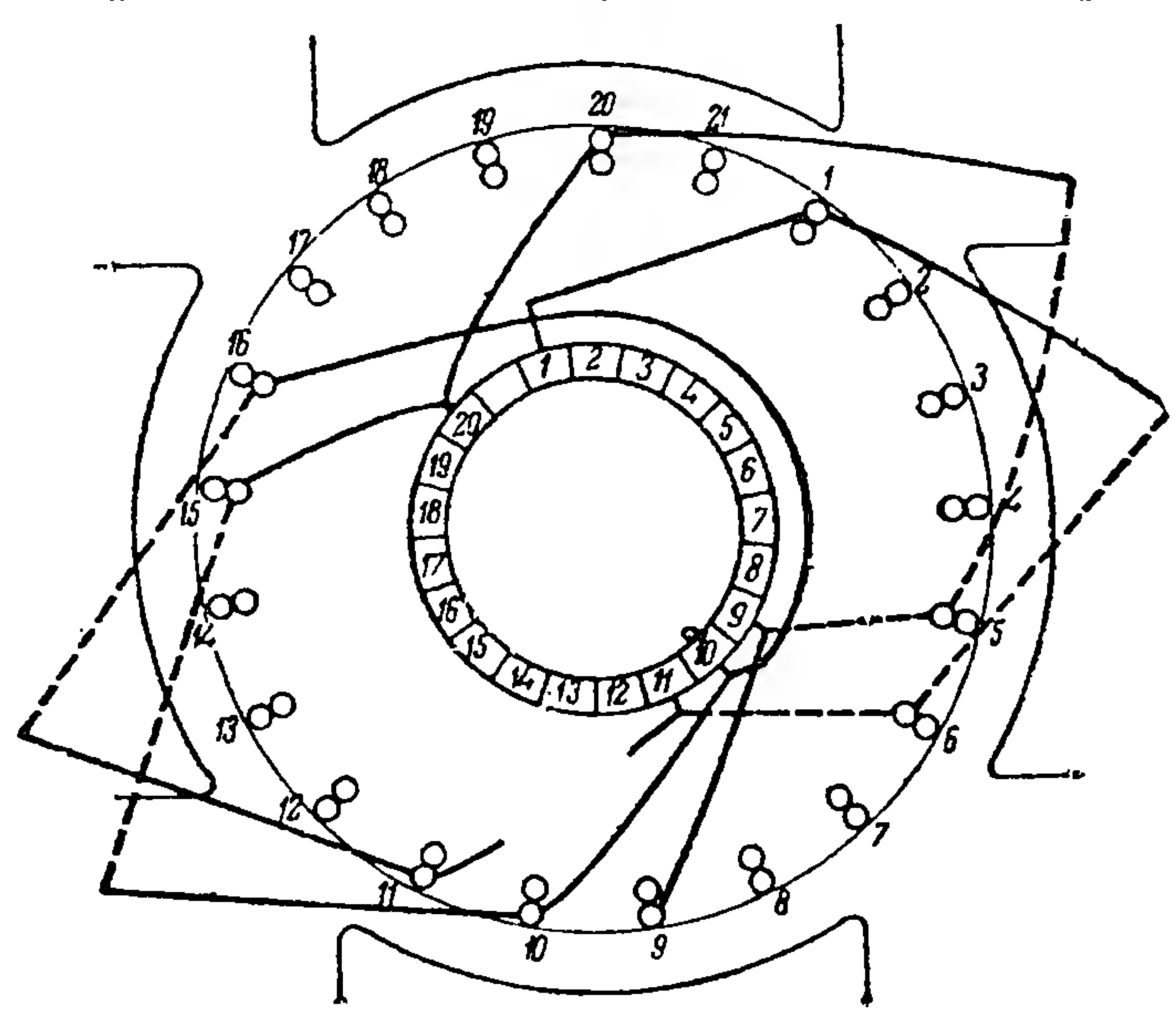


Рис. 27. Искусственно-замкнутая волновая обмотка.

обмотки будут неодинаковые. Из рисунка видно, что при выполнении обмотки один шаг по коллектору равен 10, например коллекторная пластина *10* соединяется с коллекторной пластиной *20*, второй шаг равен 9 — пластина *20* соединяется с коллекторной пластиной *9*. При каждом обходе вокруг якоря шаги $y_к = 10$ и $y_к' = 9$ чередуются.

Если бы машина была 6-полюсной, то чередование шагов было бы следующее: из трех шагов обмотки, соответствующих одному обходу вокруг якоря, два шага определялись бы по формуле:

$$y_к = \frac{(K+1)-1}{p} = \frac{K}{p}, \quad (21)$$

а один шаг был бы на единицу меньше и равнялся бы $\frac{K}{p} - 1$.

Практически при выполнении этой обмотки удобнее придерживаться такой нумерации коллекторных пластин, при которой коллекторную пластину с присоединенным к ней проводником, замыкающим

обмотку (в нашем примере 10), считают за первую коллекторную пластину. Это изменение счета коллекторных пластин позволяет осуществлять обмотку следующим образом: в 1-ю коллекторную пластину впаивается проводник, а затем, начиная от нее, обмотку мы выполняем с шагами

$$y_к = \frac{K}{p} \text{ и } y'_к = \frac{K}{p} - 1,$$

причем чередование этих шагов зависит от числа полюсов машины. При числе полюсов машины $2p$, $p - 1$ шагов будут равны $y_к$, а один шаг равен $y'_к$.

Оставшийся свободным конец обмотки соединяется с проводником, впаянным в коллекторную пластину *1*.

8. УСЛОВИЯ СИММЕТРИИ ОБМОТОК

При описании обмоток кольцевого якоря было отмечено, что основное требование, которому должна удовлетворять обмотка, состоит в том, чтобы э. д. с. параллельных ветвей ее при любом положении якоря уравновешивали друг друга. Отступление от этого условия приводит к появлению в обмотке якоря тока и при работе машины вхолостую. Этот ток, вызванный разностью э. д. с. параллельных ветвей обмотки якоря, называют уравнительным током. Уравнительный ток нагревает обмотку якоря, увеличивает плотность тока под щетками и в отдельных случаях исключает возможность нормальной эксплоатации машины из-за сильного перегрева обмотки якоря и искрения на коллекторе.

Для того чтобы устранить возможность появления уравнительного тока и добиться равенства э. д. с. параллельных ветвей обмотки якоря, необходимо соблюдать определенные условия при выборе числа пазов Z и числа коллекторных пластин K обмотки якоря. Эти условия называют условиями симметрии обмотки якоря; состоят они в следующем.

1. Число проводников во всех пазах должно быть одинаковым, т. е

$$s_n = \frac{N}{Z} \text{ должно равняться целому числу.} \quad (22)$$

2. Каждая пара параллельных ветвей должна содержать одинаковое число пазов, т. е.

$$\frac{Z}{a} \text{ должно равняться целому числу.} \quad (23)$$

3. Каждая пара параллельных ветвей должна содержать одинаковое число секций, т. е.

$$\frac{K}{a} \text{ должно равняться целому числу.} \quad (24)$$

4. И, наконец, последнее — четвертое условие требует, чтобы каждой стороне секции, принадлежащей одной паре параллельных ветвей, соответствовали секционные стороны других пар параллельных

ветвей, расположенных в одинаковых с первыми секционными сторонами магнитных условиях. Для этого необходимо, чтобы

$$\frac{2p}{a} \text{ равнялось целому числу.} \qquad (25)$$

Рассмотрим, какой вид принимают эти условия симметрии для рассмотренных ранее типов обмоток и как они ограничивают выбор числа пазов и коллекторных пластин.

Простая петлевая обмотка. Для этой обмотки $a = p$, поэтому четвертое условие симметрии всегда соблюдается. Для этой обмотки нужно удовлетворить также и первые три условия симметрии.

Сложно-петлевая обмотка. В обмотках этого типа четвертое условие симметрии может быть выполнено только в одном случае, когда $a = 2p$. Если $a > 2p$, то $\frac{2p}{a}$ не может быть целым числом. Таким образом сложно-петлевая обмотка может быть симметричной, если число составляющих ее простых петлевых обмоток m не больше двух.

Первые три условия для этой обмотки также должны соблюдаться. Второе и третье условия симметрии для этой обмотки могут быть выполнены только в том случае, если коллектор имеет четное число коллекторных пластин и якорь — четное число пазов. Действительно, выполнение четвертого условия симметрии требует, чтобы $a = 2p$, поэтому для удовлетворения третьего условия симметрии $\frac{K}{a} = \frac{K}{2p}$ должно равняться целому числу, что возможно только при K, равном четному числу. Эти же рассуждения справедливы и для числа пазов.

Простая волновая обмотка. Для этой обмотки $a = 1$, поэтому последние три условия симметрии выполняются при любых числах пазов и коллекторных пластин.

Первое условие симметрии для этой обмотки должно выполняться, однако для машин небольшой мощности допустимо отступление от этого условия в тех случаях, когда число пазов якоря не дает возможности выполнить обмотку (см. выше). В таких случаях приходится применять волновые обмотки с мертвыми секциями, которые не являются симметричными.

Для *сложно-волновой обмотки* должны соблюдаться все четыре условия симметрии.

9. УРАВНИТЕЛЬНЫЕ СОЕДИНЕНИЯ

А. Уравнительные соединения в кольцевых обмотках

Как было показано выше, в кольцевых обмотках все проводники, принадлежащие одной параллельной ветви, лежат под одним полюсом.

Если магнитные потоки отдельных полюсов машины не будут равны между собой, то и э. д. с. отдельных параллельных ветвей обмотки не будут равны друг другу. Неравенство магнитных потоков отдельных полюсов машины может быть вызвано следующими причинами:

1) плохой сборкой машины — неодинаковые воздушные зазоры под разными полюсами;

2) неоднородностью материала магнитной цепи, например наличие раковин в отливке станины, плохая сборка полюсов и т. д.

Эти две причины приводят к тому, что магнитные сопротивления отдельных полюсов не будут равны между собой, а следовательно и потоки отдельных полюсов не будут равны. Под тем полюсом, где воздушный зазор больше, магнитный поток будет меньше.

В случае хорошей сборки машины и однородности материала магнитной цепи при длительной работе машины подшипники могут сработаться, и воздушные зазоры под полюсом могут оказаться неравными.

Рассмотрим, к каким последствиям ведут неодинаковые э. д. с. в отдельных параллельных ветвях обмотки. На рис. 28 изображен кольцевой якорь, помещенный в четырехполюсную магнитную систему.

Предположим, что под нижним северным полюсом воздушный зазор меньше, чем под верхним; тогда магнитный поток верхнего северного полюса будет меньше магнитного потока нижнего полюса. Под обоими южными полюсами магнитные потоки будут одинаковы, и каждый из них будет меньше потока нижнего северного полюса. Э. д. с. в отдельных параллельных ветвях не равны друг другу, причем э. д. с. E_1 больше E_2, E_3 больше E_4 и $E_2 = E_3$ (рис. 28).

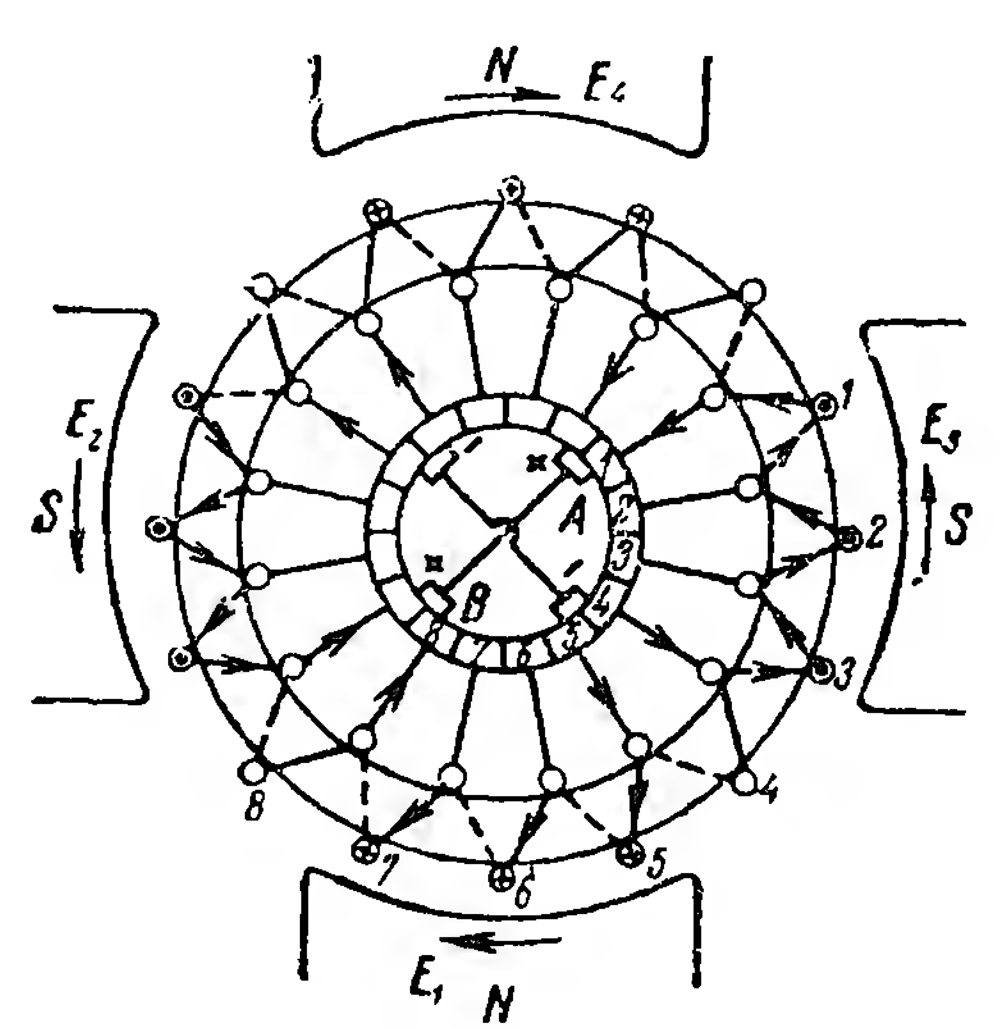


Рис. 28. Асимметричное расположение якоря в четырехполюсной магнитной системе.

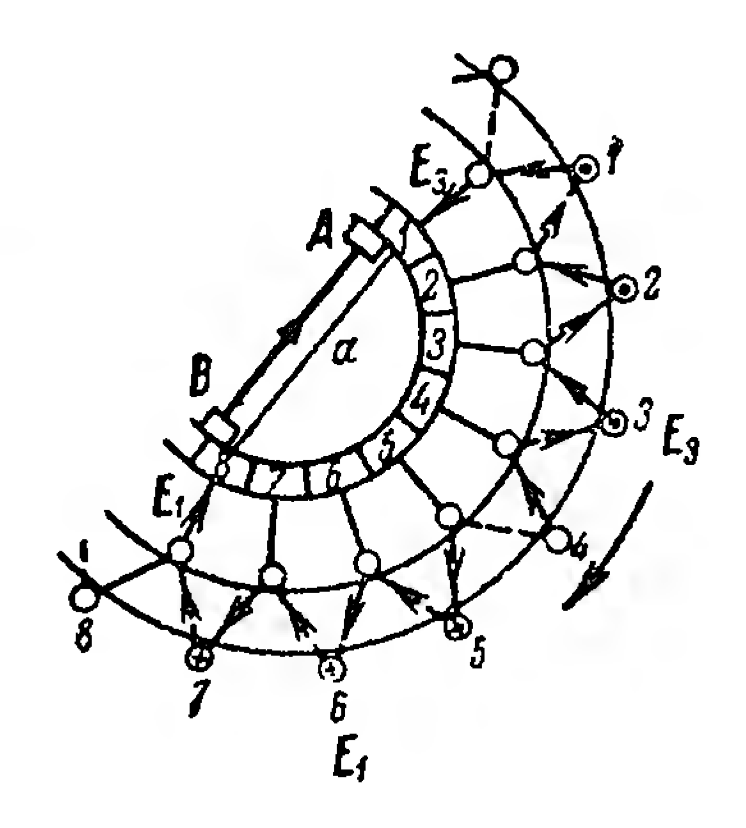


Рис. 29. Путь уравнительного тока.

Рассмотрим контур, состоящий из части обмотки, заключенной между двумя положительными щетками A и B, и шины, соединяющей эти щетки (рис. 29).

Под влиянием разности э. д. с. $E_1 - E_2$ в этом контуре возникнет уравнительный ток, направление которого показано стрелками.

Как видно из рис. 29, уравнительный ток замыкается через часть обмотки якоря, щетки, шину или провод, соединяющие одноименные щетки.

Так как сопротивление этого пути очень незначительно, то небольшая разность э. д. с. отдельных параллельных ветвей может вызвать большую силу тока.

Этот уравнительный ток будет существовать в обмотке при холостом ходе и при нагрузке, вызывая потери на джоулево тепло в обмотке якоря. Именно этими уравнительными токами очень часто объясняется нагрев якоря машины при холостом ходе. Кроме того, при нагрузке под одной щеткой (щетка B, рис. 29) ток, идущий во внешнюю цепь, и уравнительный ток складываются, благодаря чему увеличиваются плотности тока под щеткой. Все эти обстоятельства оказывают настолько неблагоприятное влияние на работу машины, что продолжительная эксплоатация ее делается невозможной, обмотки якоря машины перегреваются, на коллекторе появляется сильное искрение.

Для того чтобы избежать этих неприятных обстоятельств, необходимо уравнительные токи направить помимо щеток. Это достигается соединением проводником коллекторных пластин, находящихся под одноименными щетками. Тогда ток, вызываемый разностью э. д. с. $E_1 - E_3$, пойдет помимо щеток по проводнику a (рис. 29), ибо этот путь будет представлять для него значительно меньшее сопротивление. Если ограничиться соединением только двух коллекторных пластин проводником, то щетки не будут полностью разгружены от уравнительных токов в обмотке якоря.

Действительно, в следующий момент под щетки попадут другие проводники обмотки якоря, и уравнительные токи попрежнему будут замыкаться через щетки; поэтому обычно связывают уравнительными соединениями ряд коллекторных пластин. В больших машинах все коллекторные пластины связываются уравнительными соединениями. Уравнительные соединения, как было показано выше, разгружают щетки от уравнительных токов; помимо того, можно показать, что токи, протекающие по уравнительным соединениям, стремятся создать такое магнитное поле, которое бы выравнивало потоки отдельных полюсов, т. е. своим действием уравнительные токи стремятся уничтожить причину, их создавшую.

Расстояние между коллекторными пластинами, соединяемыми уравнительными соединениями, равно расстоянию между одноименными щетками, и если это расстояние выразить через число коллекторных пластин, то оно равно числу коллекторных пластин, приходящихся на пару полюсов $\left(\frac{K}{p}\right)$. Каждое уравнительное соединение должно соединять столько коллекторных пластин, сколько одноименных щеток имеет обмотка, т. е. p коллекторных пластин.

Б. Уравнительные соединения в петлевой обмотке (уравнительные соединения первого рода)

Петлевую обмотку барабанного якоря можно представить себе как видоизмененную обмотку кольцевого якоря, у которой неактивные проводники, расположенные на внутренней поверхности кольца, вынесены на наружную поверхность якоря. На рис. 30 изображен переход от кольцевой обмотки к петлевой барабанной. Проводник a выносится на наружную поверхность якоря и смещается на полюсное деление. Очевидно, что и по своим свойствам поэтому петлевая обмотка не должна отличаться от кольцевой. Действительно, число

параллельных ветвей кольцевой и петлевой обмоток равно в обоих случаях: $2a = 2p$. Кроме того, каждая параллельная ветвь петлевой обмотки располагается под парой соседних полюсов, и следовательно, неравенство потоков отдельных полюсов будет также вызывать неравенство э. д. с. отдельных параллельных ветвей, а значит и уравнительные токи. Так же как и в кольцевой обмотке, для разгрузки щеток от уравнительных токов в петлевой обмотке применяют уравнительные соединения.

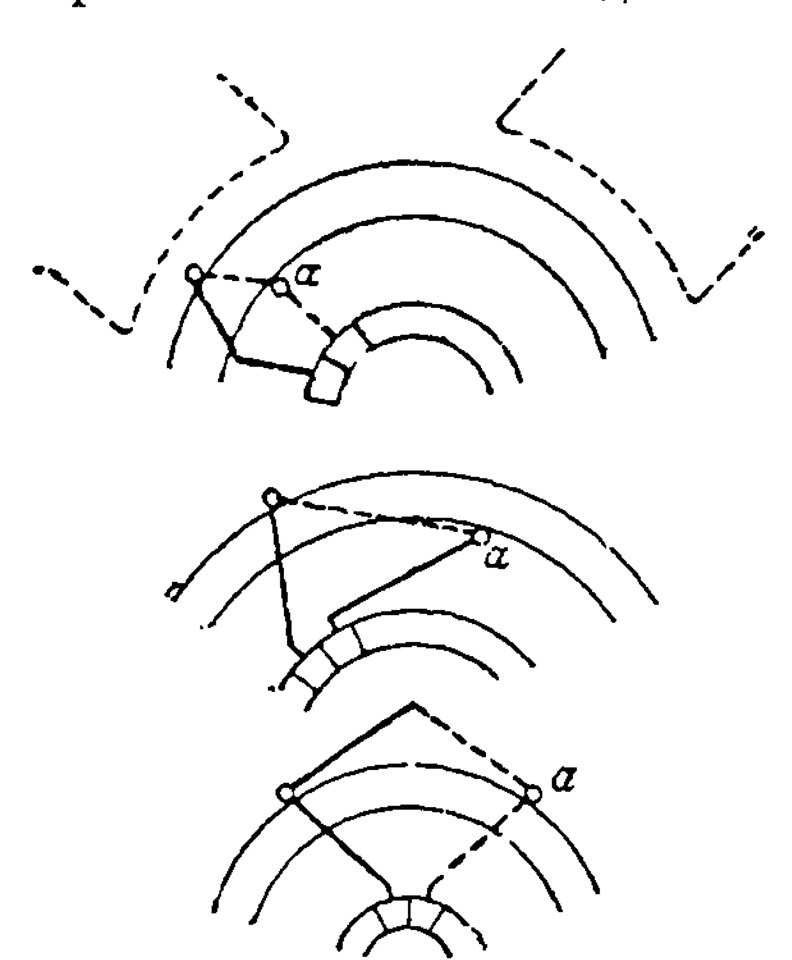


Рис. 30. Переход от кольцевой к петлевой обмотке.

Шаг уравнительных соединений для петлевой обмотки должен, так же как и в кольцевой, равняться

$$y_{ур} = \frac{K}{p} \tag{26}$$

и так как для петлевой обмотки $a = p$, то шаг уравнительных соединений будет равен

$$y_{ур} = \frac{K}{a}. \tag{27}$$

Уравнительные соединения тем лучше будут выполнять свое назначение, чем их больше, и поэтому все коллекторные пластины должны были бы соединяться уравнителями, причем каждый уравнитель должен соединять число коллекторных пластин, равное числу пар

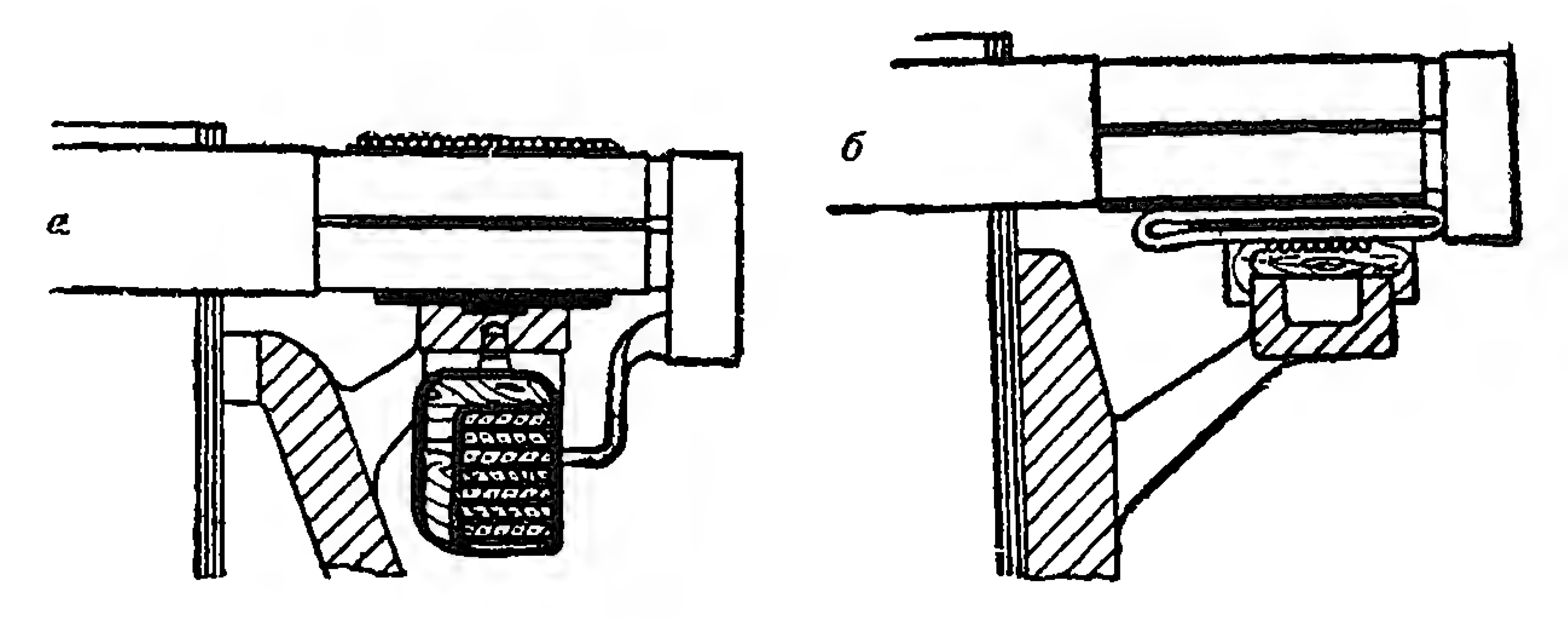


Рис. 31. Уравнительные соединения, помещенные под лобовыми частями обмотки якоря со стороны, противоположной коллектору.

полюсов машины. Однако изготовление уравнительных соединений удорожает машину, поэтому практически только для крупных машин, мощностью выше 1000 kW, и быстроходных машин (3000 *об/мин*) берут полное число уравнителей. Обычно же для машин, мощностью до 500 kW, при числе оборотов до 1000 *об/мин*, уравнителями соединяют коллекторные пластины через одну или через две пластины. Небольшие четырехполюсные машины снабжают чаще всего тремя уравнителями.

Поперечное сечение уравнительных соединений берут равным от $^1/_5$ до $^1/_3$ от поперечного сечения проводника обмотки якоря.

Пример. Определить шаг и число уравнительных соединений обмотки якоря, имеющей следующие данные: $2p = 6$, $K = 162$ и $2a = 6$ $(a = 3)$.

Шаг уравнительных соединений

$$y_{ур} = \frac{K}{a} = \frac{162}{3} = 54.$$

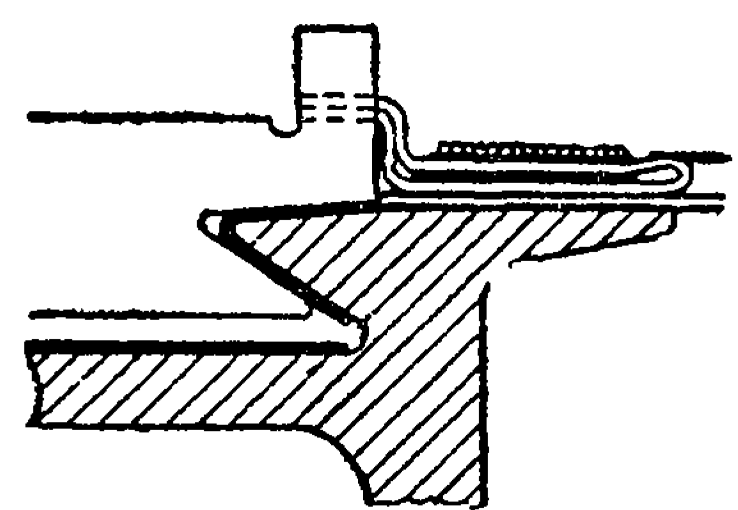


Рис. 32. Уравнительные соединения со стороны коллектора.

Число коллекторных пластин, соединяемых одним уравнителем, равно числу пар полюсов, т. е. равно $p = 3$.

Если уравнителями снабдить каждую третью коллекторную пластину, то число коллекторных пластин, соединенных уравнителями, будет равно $\frac{K}{3} = \frac{162}{3} = 54$, и так как каждый уравнитель соединяет три пластины, то число их будет равно $\frac{54}{3} = 18$.

Таблица, указывающая, какие коллекторные пластины соединяются уравнителями, составляется в следующем виде:

I уравнит. 1—55—109—1
4—58—112—4
7—61—115—7 и т. д.

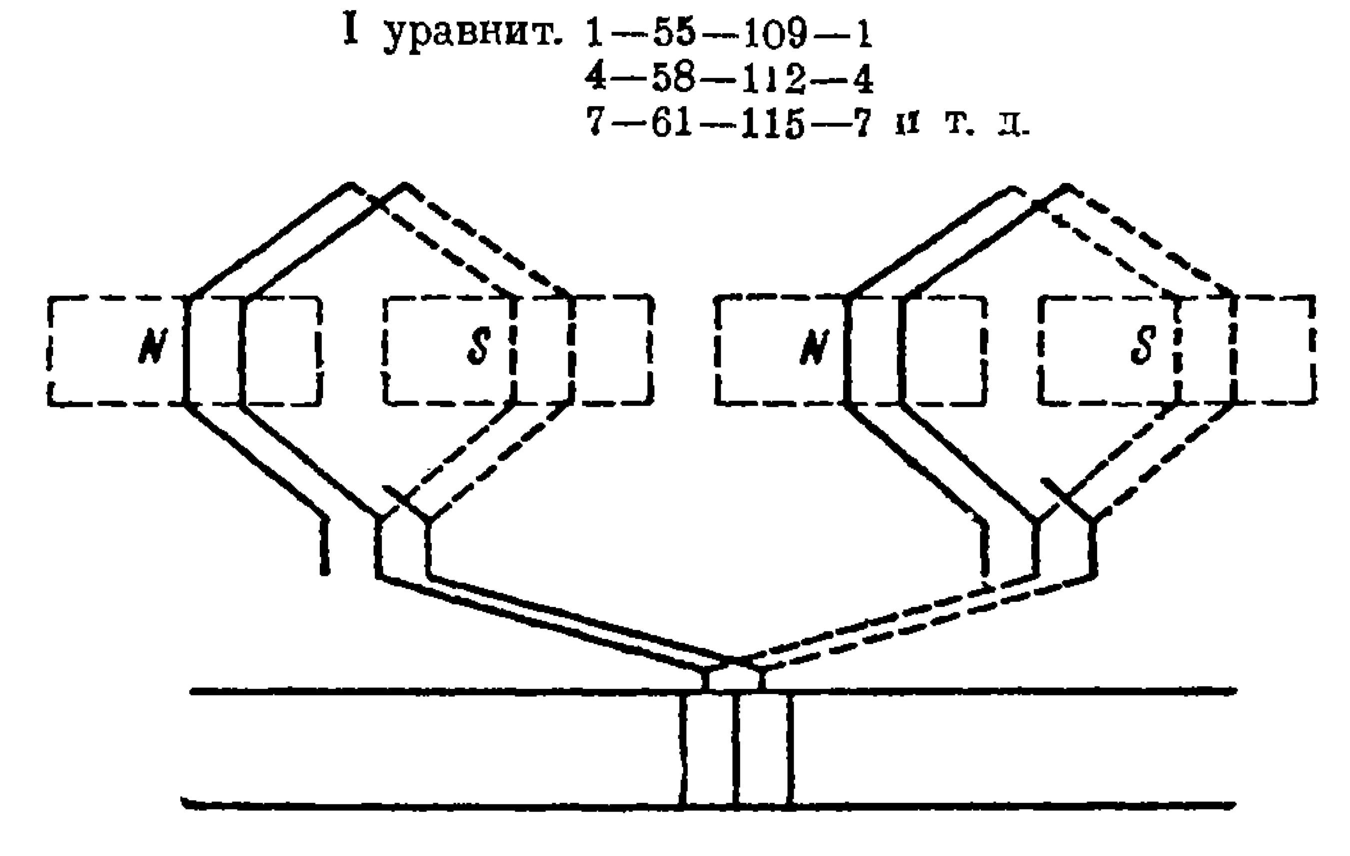


Рис. 33. Уравнительные соединения в петушках.

Укладка уравнительных соединений производится либо под лобовыми частями обмотки со стороны, противоположной коллектору, как это показано на рис. 31, *а* и *б*, либо со стороны коллектора (рис. 32).

В больших машинах уравнители часто устраиваются таким образом, что они выполняют роль петушков. На рис. 33 показана часть схемы обмотки якоря с такими уравнителями.

Из предыдущего следует, что уравнительные соединения в петлевой обмотке служат для выравнивания магнитных потоков отдельных полюсов машины и разгрузки щеток от уравнительных токов. Эти уравнительные соединения часто называют у р а в н и т е л ь н ы м и

соединениями первого рода, в отличие от уравнительных соединений в волновых обмотках, в которых они имеют другое назначение.

В. Уравнительные соединения в волновых обмотках (уравнительные соединения второго рода)

Проводники каждой параллельной ветви волновой обмотки располагаются под всеми полюсами, поэтому неравенство магнитных потоков отдельных полюсов машины в одинаковой степени скажется на всех параллельных ветвях, и э. д. с. в них будут равными. Из указанного следует, что волновые обмотки не нуждаются в уравнительных соединениях для разгрузки щеток от уравнительного тока. Кроме того, в простой волновой обмотке эти соединения невыполнимы вследствие отсутствия точек одинакового потенциала.

Если простые волновые обмотки не требуют никаких уравнительных соединений, то сложно-волновые обмотки могут хорошо работать только при выполнении их с уравнительными соединениями.

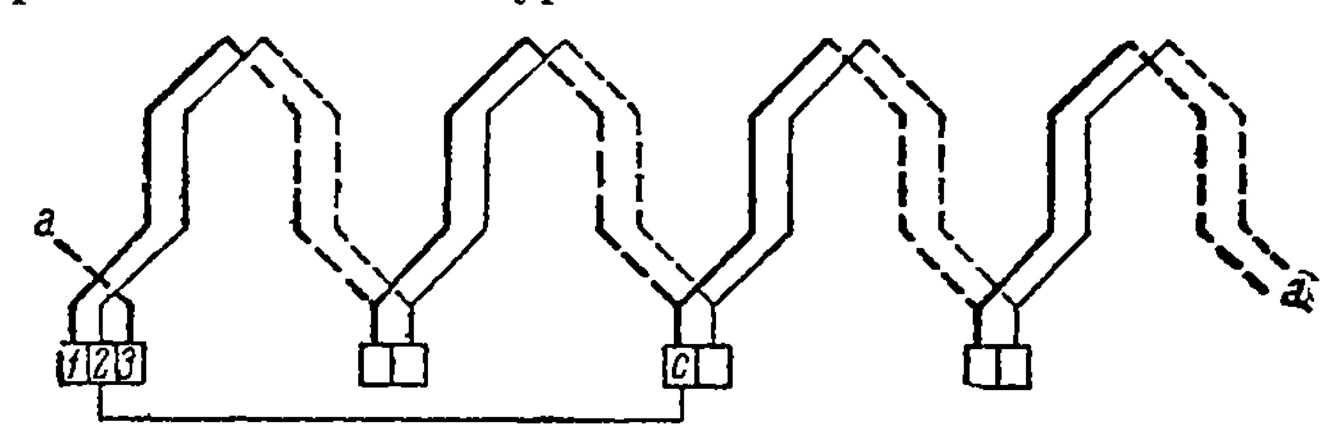


Рис. 34а. Уравнительные соединения в сложно-волновых обмотках.

В сложно-волновых обмотках соседние коллекторные пластины принадлежат разным простым волновым обмоткам, составляющим ее. Если сопротивление между щеткой и подобными коллекторными пластинами будут не равны, то и токи в отдельных волновых обмотках также не будут равны. Неравномерное распределение тока между отдельными простыми волновыми обмотками повлечет за собой и неравные падения напряжения в обмотках, вследствие чего напряжения между соседними коллекторными пластинами могут сильно увеличиться. Для того чтобы избежать повышения напряжения между коллекторными пластинами и для выравнивания его, необходимо все простые волновые обмотки, входящие в состав сложно-волновой, связать между собой электрически уравнительными соединениями. Эти соединения называют уравнительными соединениями второго рода.

На рис. 34 *а* показана часть сложно-волновой обмотки ($a = 2$) 8-полюсной машины в развернутом виде; на рис. 34 *б* изображена часть сложно-волновой обмотки 6-полюсной машины. На рисунках проводники, принадлежащие разным волновым обмоткам, показаны тонкой и жирной линиями.

Из рис. 34 *а* видно, что между коллекторными пластинами *1* и *3* включены 4 секции, поэтому и напряжение между этими коллекторными

пластинами равно напряжению данных 4-х секций. Для того чтобы коллекторная пластина *2* делила напряжение между пластинами *1* и *3* пополам, ее необходимо соединить с коллекторной пластиной *c*; тогда между пластинами *1* и *2*, а также между пластинами *2* и *3* напряжения будут равны между собой и равны напряжению двух секций.

Для 6-полюсной машины (рис. 34 *б*) равенства напряжения между коллекторными пластинами *1* и *2* и между пластинами *2* и *3* можно добиться, если уравнителем соединить коллекторную пластину *2* и точку обмотки *c*. Это соединение должно быть уложено таким образом, чтобы в нем не индуктировалась э. д. с. Практически это выполняется расположением уравнителей между валом и железом якоря. При таком выполнении уравнительного соединения напряжение между пластинами *1* и *2* будет равно напряжению трех проводников *A*, *B* и *C*, а напряжение между коллекторными пластинами *2* и *3* — трех проводников *D*, *E* и *F*.

Шаг уравнительных соединений для сложно-волновой обмотки равен

$$y_{ур} = \frac{K}{a}, \quad (28)$$

если $\frac{2p}{a}$ равно четному числу (см. рис. 34 *а*); если же $\frac{2p}{a}$ равно нечетному числу, тогда уравнителями приходится соединять точки обмотки, расположенные с обеих сторон якоря (см. рис. 34 *б*), в этом случае для шага уравнителей будет справедливо выражение

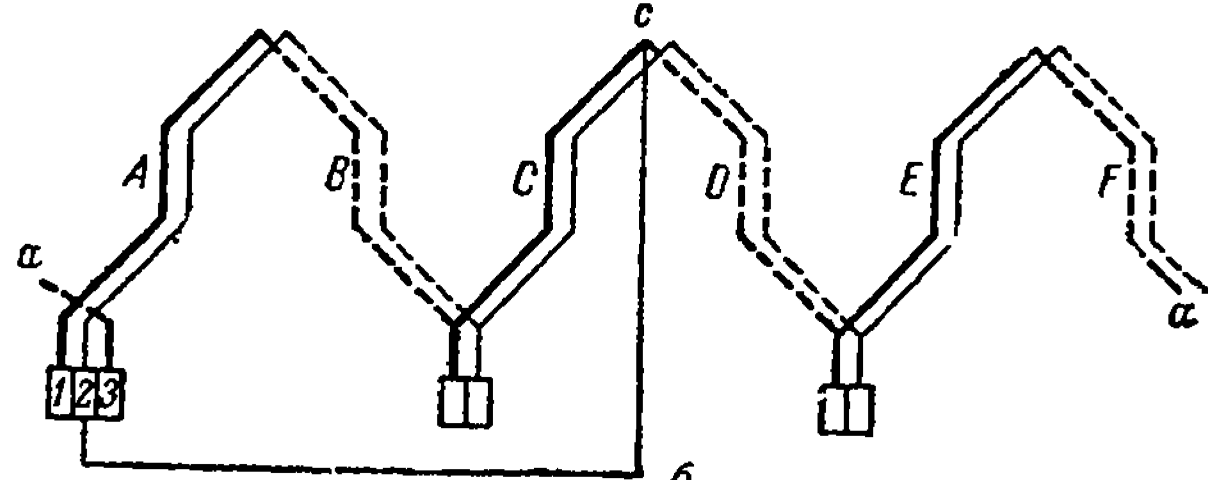


Рис. 34б. Уравнительные соединения в сложноволновых обмотках.

$$y_{ур} = \frac{K}{a} - \frac{y_к}{2}. \quad (29)$$

Число уравнительных соединений в сложно-волновой обмотке обычно берется около двух на каждый полюс. Уравнители в сложноволновой обмотке должны быть равномерно распределены по схеме обмотки.

Г. Уравнительные соединения в сложно-петлевых обмотках (уравнительные соединения третьего рода)

Сложно-петлевая обмотка может быть выполнена симметричной только в том случае, если она будет составлена из двух простых петлевых обмоток. Для устранения возможности возникновения уравнительных токов, вследствие неравенства магнитных потоков, каждая из петлевых обмоток должна быть выполнена с уравнительными соединениями первого рода.

Кроме того, для достижения равномерного распределения напряжения между соседними коллекторными пластинами обе петлевые об-

мотки должны быть связаны между собой уравнительными соединениями второго рода.

В практически применяемых сложно-петлевых обмотках уравнители первого рода для одной из обмоток выполняются со стороны коллектора, а для другой — со стороны, противоположной коллектору.

Уравнительные же соединения второго рода протягиваются с одной стороны якоря на другую; они укладываются между валом и железом якоря.

На рис. 35 изображена часть схемы сложно-петлевой обмотки с уравнительными соединениями. Данные этой обмотки: $2p = 4$, $2a = 8$, число пазов $Z = 20$, $K = 20$ и число проводников в пазу $s_n = 2$. На схеме проводники, принадлежащие двум петлевым обмоткам, составляющим сложно-петлевую обмотку, изображены тонкой и жирной линиями.

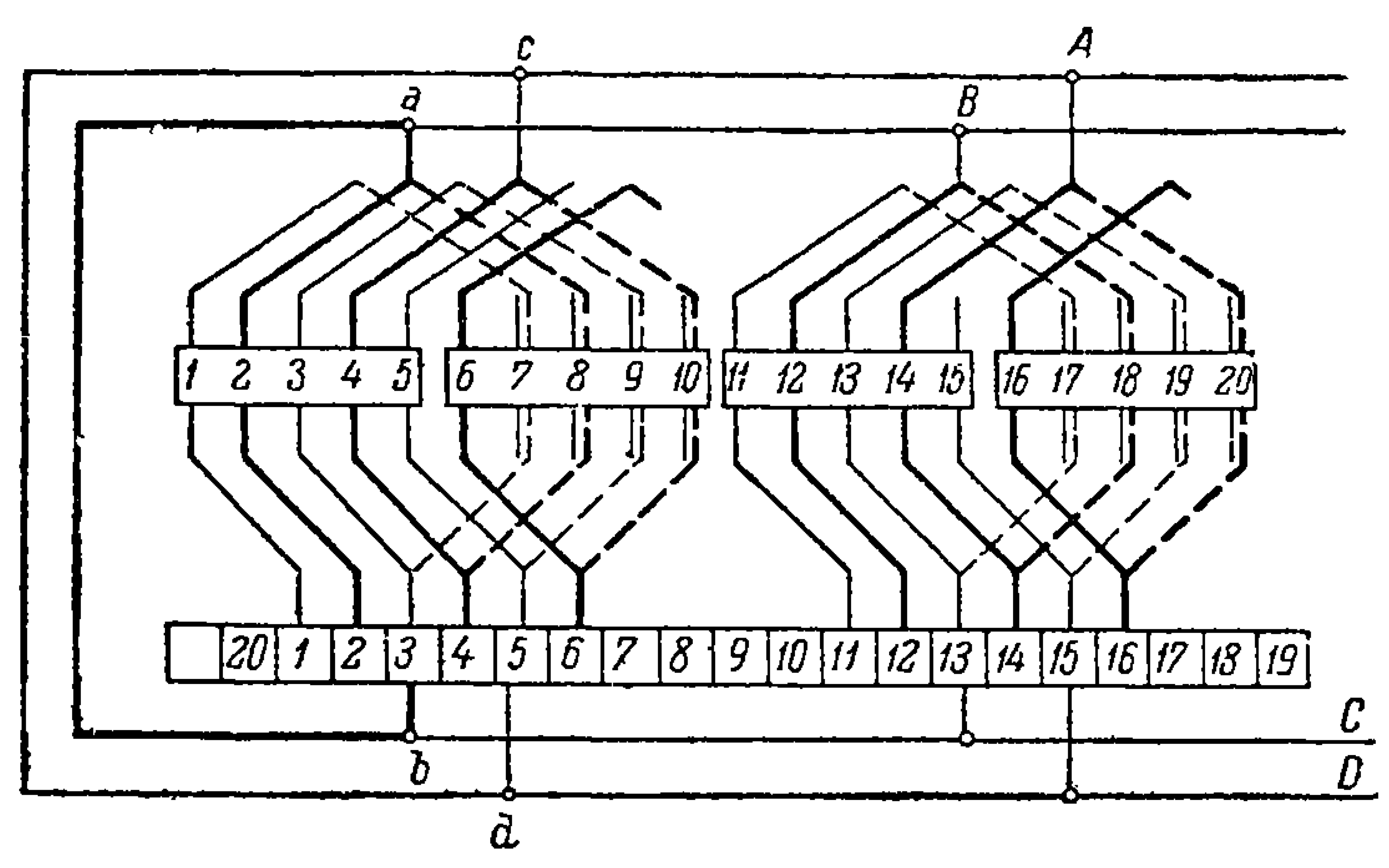


Рис. 35. Уравнительные соединения в сложно-петлевой обмотке.

Уравнительные соединения первого рода (на схеме линии A, B, C и D) расположены с обеих сторон якоря. Шаг этих уравнительных соединений равен $y_{yp} = \frac{K}{p} = \frac{20}{2} = 10$.

Уравнительные соединения второго рода соединяют обе простые петлевые обмотки (на рис. 35 линии ab и cd). Из схемы видно, что уравнительное соединение ab соединяет середину секции, состоящей из коллекторных пластин *2* и *4* и проводников *2* и *8*, с коллекторной пластиной *3*, принадлежащей второй петлевой обмотке. Благодаря такому соединению напряжение между пластинами *2* и *4* делится коллекторной пластиной *3* пополам. Напряжения между коллекторными пластинами *2* и *3* и пластинами *3* и *4* равны напряжению одного проводника.

Помимо уравнительных соединений первого и второго рода, в сложно-петлевых обмотках часто применяют еще один вид уравнительных соединений, предназначенный для создания одинаковых условий коммутации во всех секциях обмотки якоря. Эти уравнительные соединения называют уравнительными соединениями третьего рода.

Значение уравнительных соединений третьего рода можно выяснить из рис. 36, на котором выделена часть схемы обмотки якоря из схемы рис. 35.

Из рис. 36 видно, что благодаря уравнительным соединениям (ab и cd) проводники 4 и 8 в отдельности замыкаются накоротко щеткой. Проводник 8, уравнитель ab, щетка и коллекторная пластина 4 образуют замкнутый контур. Проводник 4, уравнитель cd, щетка и коллекторная пластина 4 образуют также замкнутый контур. Для того чтобы в процессе коммутации и проводники 3 и 9 каждый в отдельности замыкались щеткой накоротко, необходимо точку E (середину витка, состоящего из проводников 3 и 9) соединить с коллекторной пластиной 4. На рис. 36 это соединение показано пунктирной линией EF. При наличии такого уравнительного соединения (EF) проводник 3, уравнительное соединение EF, коллекторная пластина 4, щетка и коллекторная пластина 3 образуют замкнутый контур. Таким образом уравнительные соединения третьего рода создают одинаковые условия коммутации для секций обеих петлевых обмоток. Эти уравнительные соединения должны быть уложены между валом и железом якоря.

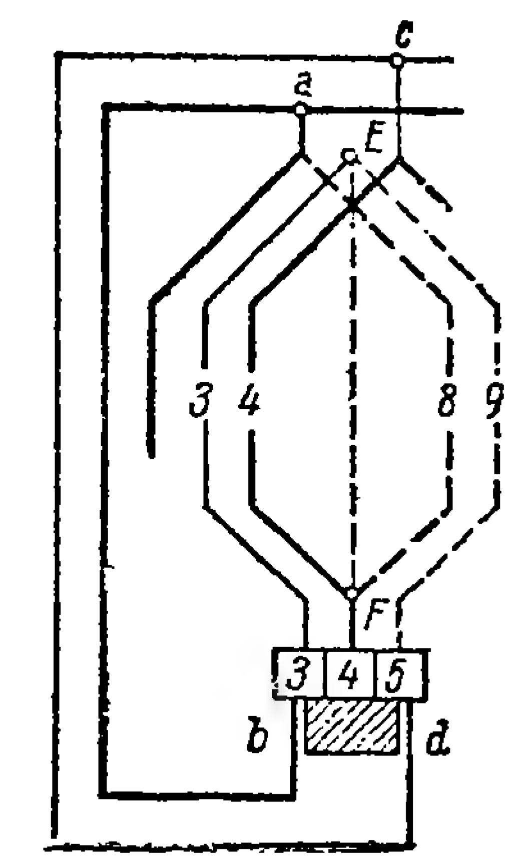
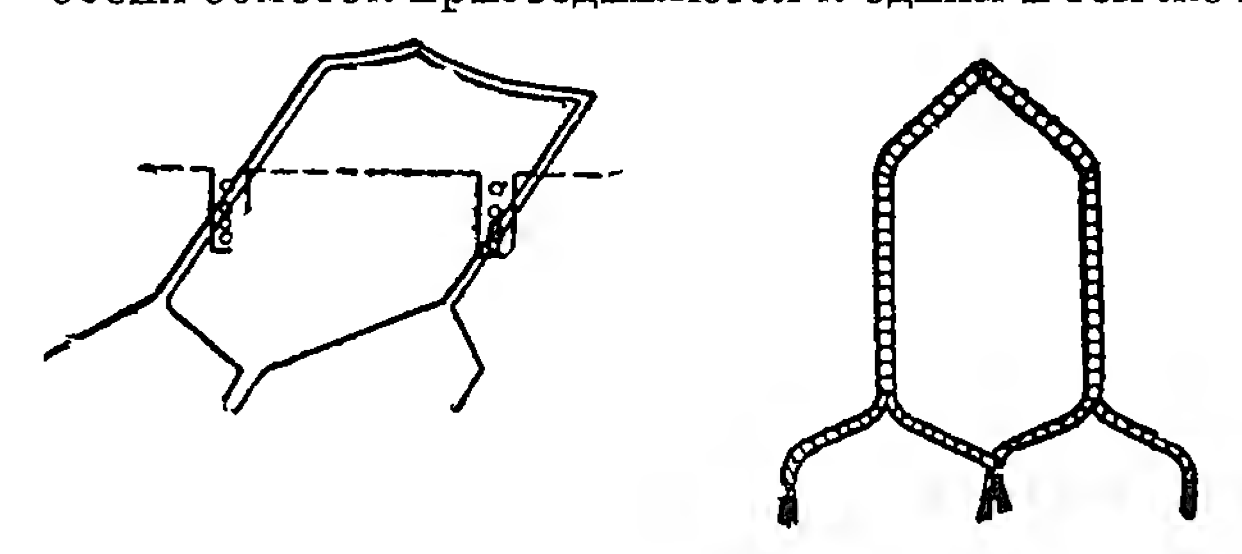


Рис. 36. Уравнительные соединения третьего рода в сложнопетлевой обмотке.

10. ЛЯГУШАЧЬЯ ОБМОТКА

«Лягушачья» обмотка представляет собой сочетание петлевой и сложно-волновой обмоток. Обе обмотки должны иметь одинаковое число секций и одинаковое число параллельных ветвей. Проводники обеих обмоток присоединяются к одним и тем же коллекторным пластинам. К каждой коллекторной пластине присоединяется по четыре проводника (2 проводника петлевой обмотки и 2 проводника волновой обмотки). Благодаря такому соединению с коллектором обе обмотки соединяются параллельно и поэтому число параллельных ветвей лягушачьей обмотки будет в два раза больше числа параллельных ветвей простой петлевой обмотки, т. е. для лягушачьей обмотки $2a = 2 \cdot 2p = 4p$.


Рис. 37. Секция лягушачьей обмотки.

Проводники лягушачьей обмотки уложены в пазы в четыре слоя. На рис. 37 изображены укладка секций лягушачьей обмотки в пазы и секция такой обмотки. По внешнему виду эта секция несколько

напоминает лягушку, поэтому и обмотка получила это название. Из рис. 37 видно, что в верхнем и нижнем слоях паза расположены проводники волновой обмотки, в средних же слоях — проводники петлевой обмотки.

Лягушачья обмотка по сравнению с петлевыми обмотками имеет одно существенное преимущество: она не нуждается в уравнительных соединениях. Одна из обмоток служит уравнительными соединениями для другой. В этом легко убедиться из рис. 38, на котором изображена часть схемы лягушачьей обмотки, имеющей следующие данные: $2p = 4$, $Z = 22$, число проводников в пазу $s_n = 4$, по 2 проводника на петлевую и волновую обмотки.

Каждая из обмоток имеет по 4 параллельных ветви. Шаги для обмоток выбраны следующие:

а) для петлевой обмотки

$$y_{кп} = y_{1п} = 1, \quad y_{1п} = \frac{K \pm b}{2p} = \frac{22-2}{4} = 5;$$

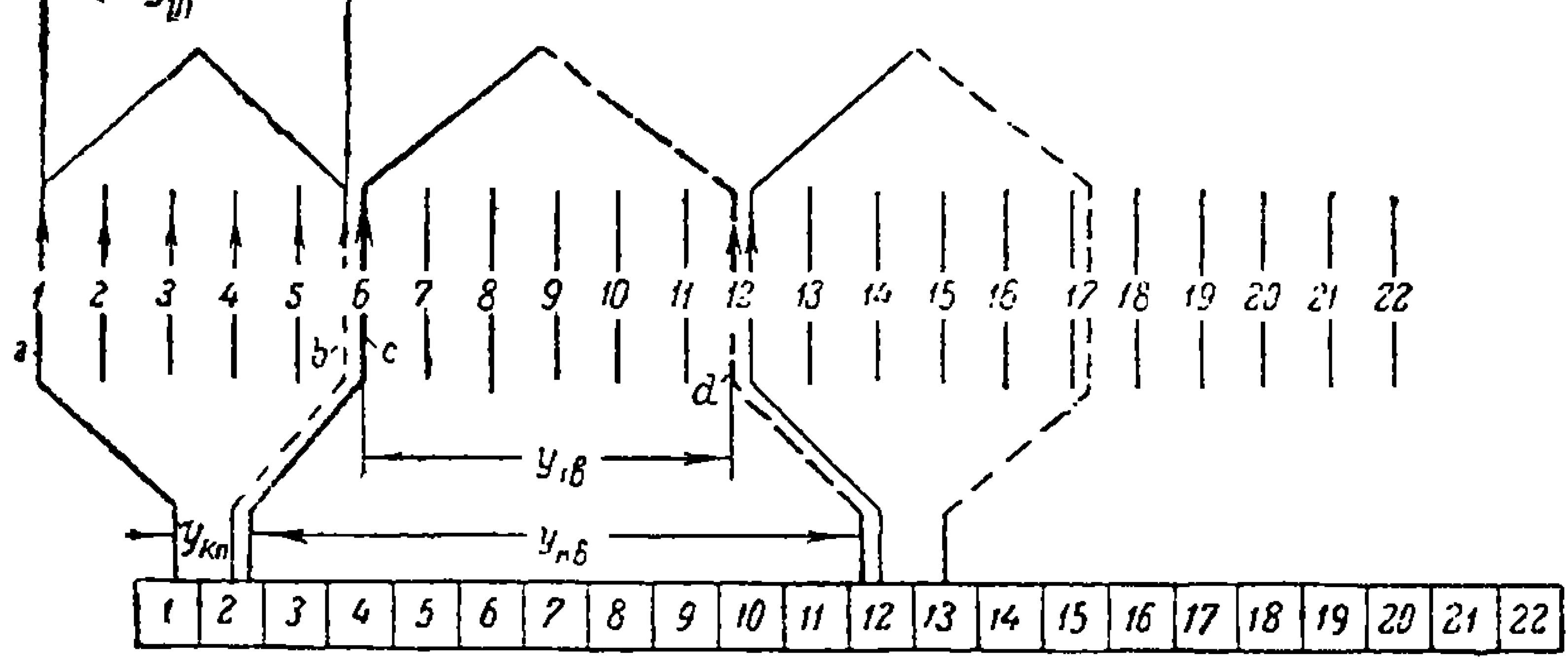


Рис. 38. Лягушачья обмотка.

б) для сложно-волновой обмотки

$$y = y_{кв} = \frac{K \pm a}{p} = \frac{22-2}{2} = 10,$$

$$y_{1в} = 6, \quad y_{2в} = 4.$$

В этих выражениях $y_{кп}$ — шаг по коллектору петлевой обмотки; $y_{кв}$ — шаг по коллектору волновой обмотки; $y_{1п}$, $y_{1в}$, $y_{2в}$ — частичные шаги соответственно для петлевой и волновой обмоток.

На рис. 38 можно проследить, что коллекторные пластины *1* и *12*, которые при петлевой обмотке следовало бы соединить уравнительным соединением $\left(\text{шаг уравнительных соединений } y_{ур} = \frac{K}{a} = \frac{22}{2} = 11\right)$, соединены между собой посредством двух последовательно соединенных секций, из которых одна принадлежит петлевой (проводники a и b), другая волновой (проводники c и d) обмоткам. Для того чтобы эти две последовательно соединенные секции заменяли уравнительное соединение, необходимо, чтобы сумма э. д. с. в них равня-

лась нулю. Это требование выполняется. Действительно, э. д. с. проводников b и c, уложенных в 6-м пазу, взаимно уничтожаются, э. д. с. проводника a компенсируется э. д. с. проводника d, который лежит в 12-м пазу.

Э. д. с. проводников a и d будут уравновешивать друг друга только в том случае, если э. д. с. в них будут равны; для этого проводники a и d должны быть расположены в одинаковых магнитных условиях, т. е. сдвинуты друг относительно друга на число элементарных пазов, соответствующее двум полюсам ($\frac{K}{p}$ элементарных пазов).

Для того чтобы выполнить это условие, первый шаг петлевой обмотки (y_{1n}) и первый шаг волновой обмотки ($y_{1в}$) должны быть связаны зависимостью (см. рис. 38)

$$y_{1n} + y_{1в} = \frac{K}{p}. \quad (30)$$

Кроме того, как видно из рис. 38, шаги по коллектору для обеих обмоток должны быть связаны следующим равенством:

$$y_{кn} + y_{кв} = \frac{K}{p} = y_{ур}. \quad (31)$$

Лягушачьи обмотки применяются для быстроходных машин и низковольтных машин небольшой мощности, в которых из-за небольшого диаметра якоря трудно разместить уравнительные соединения.

Кроме того, некоторые заводы применяют лягушачью обмотку вместо петлевой обмотки.

Из заводов СССР лягушачьи обмотки очень часто применяет Харьковский электромеханический завод им. Сталина (ХЭТЗ).

11. ПРАКТИЧЕСКИЕ СХЕМЫ ОБМОТОК

Для изготовления обмотки якоря нет необходимости давать ее полную схему. Подробные схемы обмоток, изображенные ранее, необходимы только при изучении обмоток для выяснения их свойств: числа параллельных ветвей, расположения щеток на коллекторе, расположения проводников отдельных параллельных ветвей под полюсами и т. д. Для выполнения же обмотки якоря необходимо иметь данные для изготовления секций и соединения между ними, т. е. достаточно задать первый шаг по якорю y_1, шаг по коллектору $y_к$ и иногда шаг по пазам y_n.

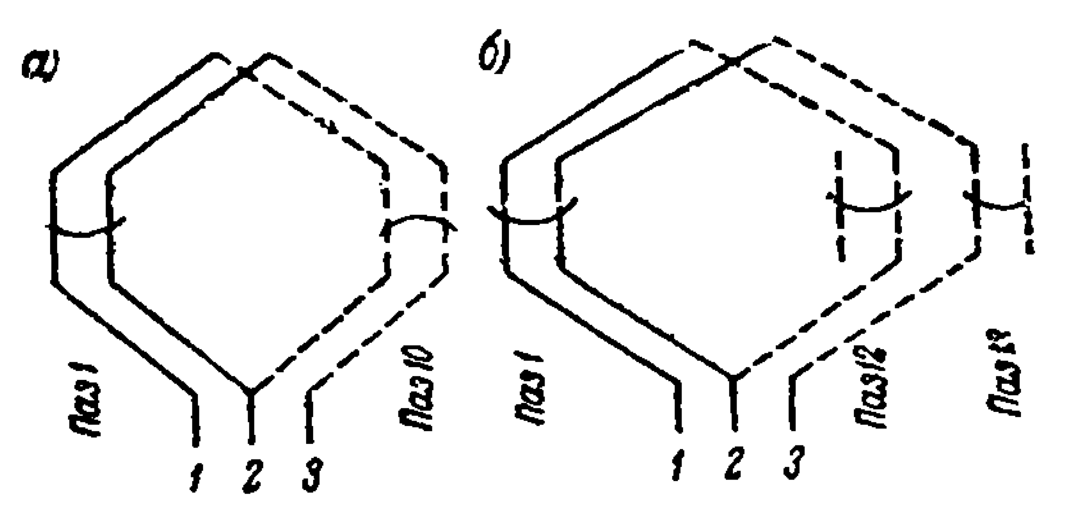


Рис. 39. Практические схемы петлевых обмоток.

Для большей наглядности эти шаги удобнее представить в виде простых эскизов, как это изображено на рис. 39.

На рис. 39, a изображена часть схемы обыкновенной петлевой обмотки. Из этой схемы видно, что секции должны быть изготовлены

такой ширины, чтобы расстояние между сторонами их было равно расстоянию между пазом *1* и пазом *10*. Из этого же рисунка видно, что обе секции, лежащие рядом в пазу, можно изолировать вместе.

На рис. 39, *б* показана часть схемы ступенчатой петлевой обмотки. Так как секции, лежащие своими верхними сторонами в пазу *1*, нижними своими сторонами лежат в двух пазах *12* и *13*, то изолировать эти две секции вместе нельзя. В этом случае обмотку приходится изготовлять из полусекций, причем две полусекции, лежащие рядом в одном пазу, изолируются вместе. После укладки в пазы полусекции со стороны, противоположной коллектору, соединяются хомутиками.

На рис. 40, *а* изображена схема волновой обмотки неступенчатой и на рис. 40, *б* — ступенчатой.

Из рис. 39 и 40 видно, что этих схем вполне достаточно для определения ширины секции, т. е., пользуясь ими, можно вычислить в миллиметрах расстояние между сторонами секции и изготовить их. Готовые

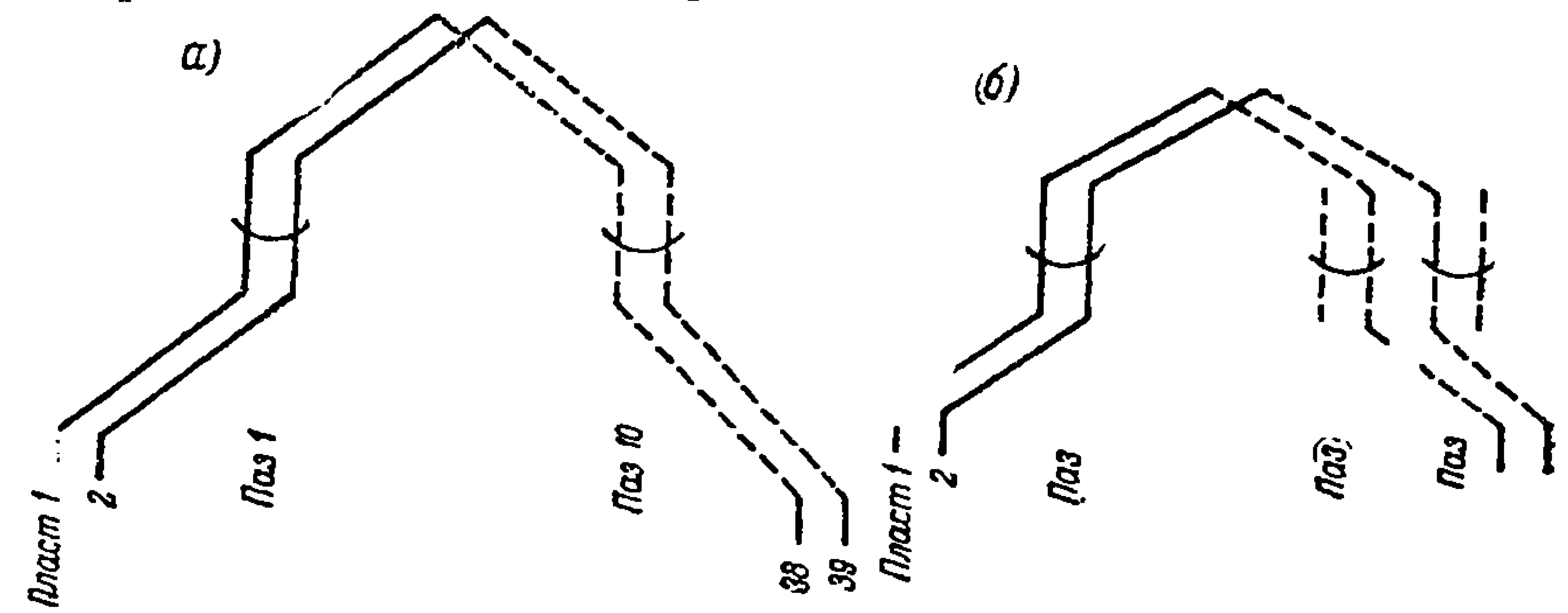


Рис. 40. Практические схемы волновых обмоток.

секции укладывают в пазы якоря и затем их соединяют между собой по заданному шагу по коллектору.

Данные для выполнения уравнительных соединений приводятся обычно в виде таблицы, как это было указано выше.

12. ЭЛЕКТРОДВИЖУЩАЯ СИЛА МАШИНЫ

Найдем, какая связь существует между числом оборотов, магнитным потоком машины, числом проводников обмотки якоря и э. д. с. машины.

Введем следующие обозначения:

n — число оборотов машины в одну минуту;
N — число проводников обмотки якоря;
$2p$ — число полюсов машины;
Φ — магнитный поток одного полюса;
$2a$ — число параллельных ветвей обмотки;
τ — полюсное деление — дуга якоря, соответствующая одному полюсу.

Э. д. с., индуктируемая в одном проводнике, согласно закону Фарадея, равна числу силовых линий, перерезываемых проводником

в одну секунду. Обозначим через T время в секундах, в течение которого проводник перемещается на одно полюсное деление, т. е. перерезает число силовых линий, равное магнитному потоку одного полюса. Э. д. с. одного проводника будет равна

$$e = \frac{\Phi}{T} \cdot 10^{-8} \text{ вольт.} \qquad (32)$$

При общем числе проводников обмотки якоря, равном N, и числе параллельных ветвей, равном $2a$, число проводников, приходящихся на одну параллельную ветвь, будет равно

$$\frac{N}{2a}.$$

Э. д. с. в проводниках каждой параллельной ветви складываются, поэтому э. д. с. параллельной ветви будет равна э. д. с. одного проводника, умноженной на число проводников параллельной ветви, т. е.

$$E = e\,\frac{N}{2a} = \frac{\Phi}{T} \cdot \frac{N}{2a} \cdot 10^{-8} \text{ вольт.} \qquad (33)$$

Последняя формула неудобна, потому что в нее входит величина T (время прохождения проводника под одним полюсом), которая требует дополнительных вычислений.

Определим, чему равно T.

Скорость перемещения проводника равна окружной скорости якоря, т. е.

$$v_a = \frac{\pi \cdot D_a \cdot n}{60},$$

где D_a — диаметр якоря машины.

Расстояние, соответствующее одному полюсу (полюсное деление), равно окружности якоря, деленной на число полюсов машины

$$\tau = \frac{\pi \cdot D_a}{2p}.$$

Очевидно, что если τ, выраженное в сантиметрах, мы разделим на v_a, также выраженное в сантиметрах, то получим время T, т. е.

$$T = \frac{\tau}{v_a} = \frac{\pi D_a \cdot 60}{2p \cdot \pi \cdot D_a n} = \frac{60}{2pn}.$$

Подставляя полученное выражение для T в ф-лу (22), получим окончательное выражение для э. д. с. машины:

$$E = \frac{\Phi \cdot 2pn}{60} \cdot \frac{N}{2a} \cdot 10^{-8} = \frac{pn}{60} \cdot \frac{N}{a} \cdot \Phi \cdot 10^{-8} \text{ вольт.} \qquad (34)$$

Так как все параллельные ветви якоря включены параллельно к шинам, соединяющим одноименные щетки, то напряжение на зажимах машин будет равно э. д. с. одной параллельной ветви.

Полученная формула для э. д. с. машины является одной из важнейших формул в теории машин.

13. ОПРЕДЕЛЕНИЕ СОПРОТИВЛЕНИЯ ОБМОТКИ ЯКОРЯ

Укажем, как по основным данным обмотки якоря определить ее сопротивление.

Обозначим длину одного проводника обмотки якоря (в метрах) через l, площадь поперечного сечения одного проводника (в *мм*²) через q, удельное сопротивление материала проводника — ϱ.

Сопротивление одного проводника будет равно

$$r = \varrho \frac{l}{q}. \tag{35}$$

Каждая параллельная ветвь обмотки содержит $\frac{N}{2a}$ проводников, соединенных последовательно, поэтому сопротивление одной параллельной ветви обмотки будет равно сопротивлению одного проводника, умноженному на число проводников одной параллельной ветви, т. е.

$$r \cdot \frac{N}{2a} = \varrho \frac{l}{q} \cdot \frac{N}{2a}. \tag{36}$$

Общее сопротивление обмотки якоря, которое мы обозначим через R_a, будет меньше сопротивления одной параллельной ветви обмотки во столько раз, сколько их имеет обмотка, т. е.

$$R_a = \frac{\text{сопротивление одной параллельной ветви}}{2a} =$$

$$= \varrho \frac{lN}{2a \cdot q \cdot 2a} = \varrho \frac{lN}{(2a)^2 \cdot q}. \tag{37}$$

При обмотке якоря, изготовленной из меди (как это обычно и бывает), удельное сопротивление которой равно $^1/_{57}$, выражение для сопротивления принимает следующий вид:

$$R_a = \frac{lN}{57 \cdot (2a)^2 \cdot q}. \tag{38}$$

14. ВЫБОР ОБМОТКИ ЯКОРЯ

Для выяснения тех факторов, которые влияют на выбор обмотки якоря, рассмотрим два простых примера.

Пример 1. Требуется подобрать обмотку якоря для динамомашины, имеющей следующие данные: мощность машины $P = 4{,}6$ kW, напряжение $U = 115$ V, сила тока $I = 40$ A, число оборотов $n = 600$ в минуту.

Число полюсов машины $2p = 4$ и диаметр якоря машины $D_a = 210$ *мм*.

Предположим далее, что по расчету магнитный поток на один полюс Φ может быть принят равным $0{,}9 \cdot 10^6$ линий.

Изменение этого магнитного потока при выборе обмотки якоря недопустимо по следующим соображениям.

1. Увеличение магнитного потока потребовало бы увеличения силы тока в катушках возбуждения, что вызвало бы перегрев их.

2. Уменьшение же магнитного потока Φ нежелательно по той причине, что оно, как следует из ф-лы (33) для э. д. с. якоря, потребовало

бы увеличения числа проводников обмотки якоря для получения заданного напряжения на зажимах машины. Увеличение же числа проводников обмотки якоря вызывает увеличение сопротивления и перегрев ее.

На основании указанного при выборе обмотки якоря мы будем считать магнитный поток заданным.

Для выбора обмотки якоря обратимся к формуле для э. д. с. машины:

$$E = \frac{pn}{60} \cdot \frac{N}{a} \cdot \Phi \cdot 10^{-8} \text{ вольт.} \quad (34)$$

Из этой формулы видно, что при заданных э. д. с. E, числе пар полюсов p и магнитном потоке Φ при выборе обмотки якоря можно оперировать двумя величинами: числом проводников обмотки N и числом пар параллельных ветвей a.

Попытаемся осуществить для данного примера простую петлевую обмотку ($a = p = 2$).

Число проводников, которое должно быть уложено на якорь, получаем из ф-лы (34):

$$N = \frac{60aE \cdot 10^8}{np\Phi} = \frac{60 \cdot 2 \cdot 125^{1} \cdot 10^8}{2 \cdot 600 \cdot 0{,}9 \cdot 10^6} = 1390 \text{ проводников.}$$

Поперечное сечение каждого проводника должно быть рассчитано на силу тока параллельной ветви, равную $i_a = \frac{I_a}{2a} = \frac{40}{4} = 10$ А.

Если бы мы захотели такую обмотку выполнить с одним витком в секции ($w = 1$), то число коллекторных пластин было бы равно

$$K = \frac{N}{2} = \frac{1390}{2} = 695.$$

С таким большим числом пластин коллектор трудно выполним, так как пластины получаются настолько тонкими, что в них нельзя впаять проводники обмотки якоря. Действительно, если даже считать, что диаметр коллектора равен диаметру якоря, т. е. 210 *мм* (обычно диаметр якоря больше диаметра коллектора), то ширина коллекторной пластины вместе с изоляционной прокладкой будет равна $\frac{\pi \cdot 210}{695} = 0{,}95$ *мм*. Толщина миканитовой прокладки между пластинками равна 0,6—0,8 *мм*, следовательно толщина коллекторной пластины будет равна всего 0,35 *мм*.

Ясно, что при такой толщине коллекторной пластины обмотку нельзя впаять в коллектор и сам коллектор трудно выполним. Для того чтобы устранить эти затруднения в изготовлении коллектора, необходимо увеличить число витков в каждой секции с тем, чтобы ширина коллекторного деления (коллекторная пластина и миканитовая прокладка) была не меньше 3,5—4 *мм*. Эта ширина коллекторного деления практически является минимальной.

---

[1] E взято равным 125 V, исходя из того, что э. д. с. машины должна быть больше напряжения машины на величину падения напряжения, которая в примере принята равной 10 V.

Правда, для высоковольтных машин постоянного тока приходится применять коллекторные пластины толщиной до 2 *мм*, но это связано с большими затруднениями.

В нашем примере для получения необходимой толщины коллекторного деления нужно уменьшить число коллекторных пластин по крайней мере в 4 раза, т. е. взять четыре витка в секции.

При четырех витках в секции число коллекторных пластин равно

$$\frac{1390}{2\cdot 4}=173.$$

Выполнение коллектора может быть облегчено уменьшением числа коллекторных пластин, для чего надо перейти к простой волновой обмотке.

Сравним полученную петлевую обмотку с простой волновой.

Простая волновая обмотка имеет в четырехполюсной машине в два раза меньше параллельных ветвей, чем простая петлевая. Это вызывает следующие изменения в обмотке якоря:

1) число проводников обмотки якоря уменьшается в два раза [см. ф-лу (34)];

2) поперечное сечение проводников обмотки якоря будет в два раза больше, и наконец

3) при прежнем числе коллекторных пластин число витков в секции будет в два раза меньше или же, если сохранить четыре витка в секции, число коллекторных пластин будет в два раза меньше.

Сравнивая эти два варианта обмоток, нетрудно видеть, что предпочтение следует отдать волновой обмотке, обладающей рядом преимуществ:

1) меньшее число проводников обмотки якоря дает возможность положить в пазы якоря больше меди, так как место, занятое изоляцией, будет меньше (иначе говоря, при переходе к волновой обмотке сечение проводников может быть увеличено несколько больше чем в два раза, что ведет к уменьшению сопротивления якоря и перегрева его);

2) волновая обмотка не требует уравнительных соединений;

3) меньшее число витков в секции волновой обмотки улучшает коммутацию машины, так как уменьшается э. д. с. самоиндукции секции, замкнутой накоротко щеткой.

Пример 2. Требуется выбрать обмотку якоря для динамомашины, имеющей следующие данные: мощность $P = 1000$ kW, напряжение $U = 600$ V, сила тока $I = 1660$ A, число оборотов $n = 730$ в минуту. Машина имеет $2p = 8$ полюсам и диаметр якоря ее равен $D_a = 1100$ *мм*.

Как и в предыдущем примере, будем считать магнитный поток машины заданным и равным $\Phi = 8{,}5 \cdot 10^6$ линий.

Попытаемся в этом случае применить простую волновую обмотку ($a = 1$). Для такой обмотки число проводников будет

$$N=\frac{60aE\cdot 10^8}{pn\cdot\Phi}=\frac{60\cdot 1\cdot 620^{1}\cdot 10^9}{4\cdot 730\cdot 8{,}5\cdot 10^6}=150 \text{ проводников.}$$

[1] Если учитывать падение напряжения.

Число коллекторных пластин будет равно

$$K = \frac{N}{2} = \frac{150}{2} = 75.$$

Нетрудно показать, что машина, выполненная с такой обмоткой, работать не будет из-за большого напряжения между коллекторными пластинами, которое вызовет вольтову дугу на коллекторе.

Между двумя соседними щеточными болтами, удаленными друг от друга на расстояние полюсного деления, действует напряжение машины U; между этими щеточными болтами расположено число коллекторных пластин, приходящихся на один полюс, т. е. $\frac{K}{2p}$ коллекторных пластин. Если принять, что напряжение между коллекторными пластинами распределено равномерно, то среднее напряжение между ними, которое мы обозначим $e_{к\ ср}$, будет равно:

$$e_{к\,ср} = \frac{2pU}{K}$$

Для нашего примера получаем

$$e_{к\,ср} = \frac{2pU}{K} = \frac{8 \cdot 600}{75} = 64 \text{ V}.$$

Известно, что вольтова дуга возникает при напряжении между электродами порядка 30—35 V, следовательно, если выполнить машину с простой волновой обмоткой, вольтова дуга на коллекторе неизбежна, и, конечно, машина при этом работать не может.

Есть еще ряд причин, которые заставляют отказаться в данном случае от применения простой волновой обмотки. Из них отметим только одну, а именно — большую силу тока в параллельной ветви, которая равна

$$i_a = \frac{I}{2a} = \frac{1660}{2} = 830 \text{ A}.$$

Большая сила тока в параллельной ветви обмотки обычно вызывает искрение машины. Практика рекомендует не брать ток параллельной ветви бо́льшим 500—600 А.

Из всего изложенного следует, что для этой машины применение простой волновой обмотки недопустимо.

Переход на простую параллельную обмотку ($2a = 2p = 8$) устраняет все неприятности, связанные с применением простой волновой обмотки: недопустимо большое значение напряжения между коллекторными пластинами и большую силу тока в параллельной ветви.

Число проводников и коллекторных пластин простой петлевой обмотки будет в четыре раза больше, чем в волновой обмотке, и следовательно напряжение между коллекторными пластинами будет равно 16 V $\left(\frac{64}{4} = 16\right)$.

Сила тока в параллельной ветви обмотки будет равна

$$i_a = \frac{1660}{8} \approx 208 \text{ A}.$$

Таблица 4

Данные обмоток выполненных машин

Данные машины: P, kW	U, V	n, об/мин	Диаметр якоря D_a, см	Число полюсов, 2p	Число пазов, Z	Род обмотки, a	Число проводников в пазу s_n	Число витков в секции, w	Число коллекторных пластин, K	Шаги: y_1	y_2	$y_к = y$	Шаг по пазам	Число уравнителей
4,5	220	1450	16	4	29	1	26	4—5—4	87	21	23	43	1 п.—8 п.	
25	115	250	50	8	67	1	6	1	201	24	56	60	1 п.—9 п.	
150	230	600	54	6	100	2	4	1	200	33	33	66		8
250	120	750	60	6	99	3	2	1	99	16	15	1		8
1750	750	500	180	12	198	6	6	1	594	48	47	1		в катушках

Остается еще проверить, не слишком ли тонки будут коллекторные пластины. Число коллекторных пластин будет равно

$$K = 4 \cdot 75 = 300.$$

Приняв диаметр коллектора равным 700 *мм*, получим коллекторное деление, равное $\frac{3{,}14 \cdot 700}{300} = 7{,}35$ *мм*, что вполне допустимо.

Из разобранных двух примеров видно, что выбор обмотки якоря в основном определяется следующими условиями:

1) число коллекторных пластин не должно быть слишком велико, с тем, чтобы коллекторные пластины были достаточной толщины для возможности впайки в них проводников обмотки якоря (на практике избегают брать ширину коллекторного деления, меньшую 3,5 *мм*);

2) число коллекторных пластин должно быть таково, чтобы среднее напряжение между ними не было больше 20 V;

3) сила тока в параллельной ветви обмотки якоря не должна быть больше 300 A.

Это основные три условия, которые определяют выбор обмотки якоря.

При выполнении этих условий предпочтение следует отдавать простой волновой обмотке, не имеющей уравнительных соединений.

Кроме того, при волновой обмотке число проводников будет наименьшим, поэтому место, занимаемое изоляцией проводников, также уменьшится. Пазы будут у́же, а зубцы шире, и для проведения магнитного потока через зубцы потребуется меньше ампервитков.

Не вдаваясь дальше в вопросы выбора обмоток, укажем области применения разных типов обмоток.

Простая волновая обмотка может быть применена в машинах с числом оборотов до 1500 *об/мин* для мощностей:

при напряжении	110 V		50 kW
» »	220 »		100 »
» »	440 »		250—300 kW

Простая петлевая обмотка применяется в машинах, мощностью выше 500 kW. Для мощностей 150—300 kW в ряде случаев (при 220 V), когда при петлевой обмотке получается слишком большое число коллекторных пластин, применяют сложно-волновые обмотки.

Сложно-петлевые обмотки применяются в низковольтных машинах.

В качестве примеров, иллюстрирующих области применения различных типов обмоток, выше приведены данные обмоток выполненных машин (см. табл. 4).

ГЛАВА II

ОБМОТКИ МАШИН ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

1. ВВЕДЕНИЕ

Обмотки статоров синхронных и асинхронных машин по своим схемам и выполнению почти ничем не отличаются между собой, но требования, предъявляемые к ним, совершенно различны. Поэтому мы в дальнейшем будем рассматривать эти обмотки раздельно.

Прежде чем приступить к изложению теории обмоток, остановимся на выяснении роли обмоток в синхронных и асинхронных машинах и на тех требованиях, которым должны удовлетворять эти обмотки.

Во всех современных синхронных генераторах обмотка, приключаемая к сети переменного тока, располагается на неподвижной части машины — статоре и носит название о б м о т к и с т а т о р а. Обмотка, приключаемая к источнику постоянного тока, располагается на вращающейся части машины — роторе и носит название о б м о т к и р о т о р а. К такому расположению обмоток электромашиностроительные заводы пришли путем многолетнего опыта. Для машин маленькой мощности возможно, что будет более целесообразным поменять местами обмотки, т. е. обмотку переменного тока поместить на роторе, а обмотку постоянного тока на статоре. В дальнейшем будем считать, что обмотка переменного тока располагается на статоре, а обмотка постоянного тока на роторе.

Назначение обмотки ротора заключается в создании магнитного потока определенной величины, формы распределения и чередования полюсов.

Назначение обмотки статора заключается в питании переменным током приемников, приключенных к сети переменного тока: лампочек, асинхронных двигателей, трансформаторов и т. д. В настоящее время в технике сильного тока остановились на синусоидальном изменении во времени напряжения и тока как наиболее благоприятном для работы как приемников, так и самих генераторов. Поэтому одним из основных требований, предъявляемых к синхронным генераторам, является синусоидальность напряжения на зажимах машины.

Согласно нормам (ОСТ 3887), изменение напряжения на зажимах генератора во времени должно происходить по кривой, у которой ни одна из ординат не должна отличаться от соответствующей ординаты

основной синусоиды больше чем на 5% от амплитуды основной синусоиды. Если, например, напряжение меняется во времени по кривой *1* (рис. 41), а основная синусоида изображается кривой *2*, то a_0—S, b_1—a_1, b_2—a_2 и т. д. не должны превышать 5% амплитуды S. Для определения основной синусоиды должны быть использованы по меньшей мере 12 точек кривой. Для кривых, которые во все четверти периода симметричны, амплитуда S основной синусоиды выражается формулой

$$S = \frac{a_0 + a_1\sqrt{3} + a_2}{3}, \qquad (39)$$

где a_0 — наибольшее значение ординаты действительной кривой,
a_1 — значение ординаты действительной кривой, отстоящей от ординаты a_0 на $^1/_{12}$ периода,
a_2 — значение ординаты действительной кривой, отстоящей от ординаты a_0 на $^2/_{12}$ периода.

Таким образом **основное положение**, которое необходимо всегда иметь в виду при исполнении обмотки статора синхронного генератора, заключается в том, что **напряжение на зажимах обмотки должно изменяться во времени синусоидально.**

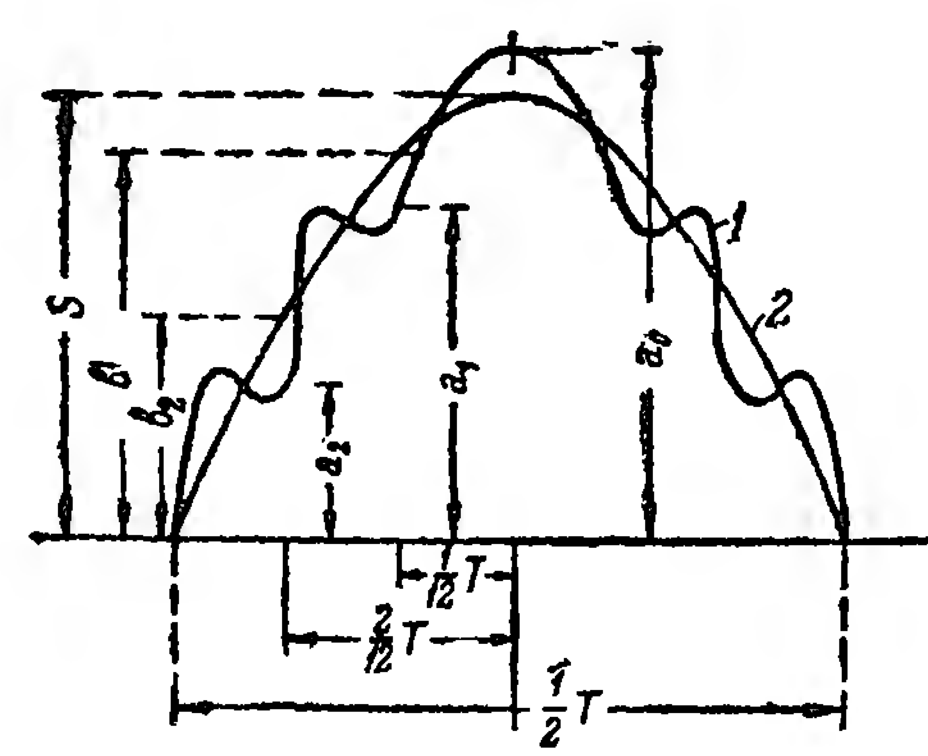


Рис. 41. Кривая напряжения синхронного генератора.

Во всех современных асинхронных двигателях обмотка, приключаемая к сети переменного тока, располагается на статоре.

Другая обмотка, тоже переменного тока, в нормальных условиях работы обычно замыкается накоротко. Эта обмотка располагается на роторе.

Назначение обмотки статора заключается в создании вращающегося магнитного поля. Перемещаясь относительно обмотки ротора, вращающееся магнитное поле индуктирует в ней э. д. с. и создает ток. Взаимодействуя с магнитным потоком, обмотка ротора создает момент вращения на валу двигателя.

Если магнитный поток, создаваемый обмоткой статора, будет распределяться по внутренней окружности статора синусоидально, то асинхронный двигатель будет работать спокойно. Момент вращения в зависимости от числа оборотов двигателя изобразится в этом случае кривой *1* (рис. 42), где n_1 — рабочее число оборотов в минуту.

Если обмотка статора создает несинусоидальный магнитный поток, то кривая момента вращения исказится и будет изображаться, примерно, кривой *2*. В этом случае двигатель с коротко замкнутым ротором может не развернуться и застрять на числе оборотов в минуту n_2, которое меньше n_1. Кроме того, при несинусоидальном распределении магнитного потока сильно возрастают потери, уменьшается коэфициент полезного действия и увеличивается перегрев.

Поэтому, исходя из этих соображений, при исполнении обмотки статора необходимо стремиться к тому, чтобы магнитный поток обмотки статора по возможности распределялся синусоидально.

Синхронный двигатель имеет те же обмотки, что и синхронный генератор. Обмотка переменного тока обычно размещается на статоре, а обмотка постоянного тока — на роторе. Кроме этого, все современные синхронные двигатели имеют асинхронный пуск, для чего они снабжаются еще пусковой обмоткой.

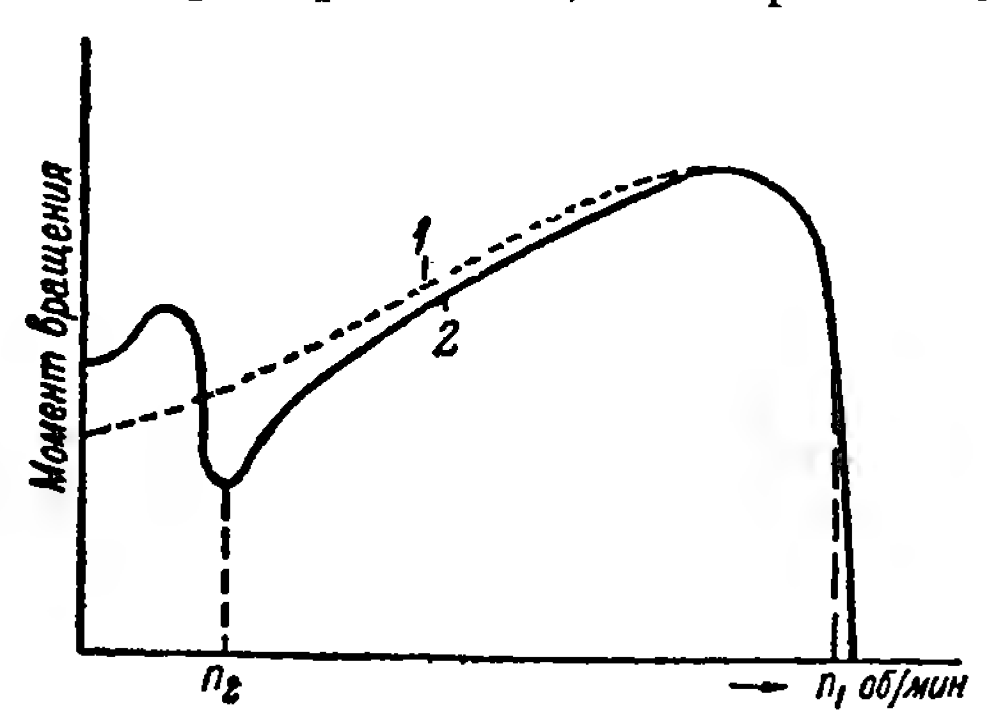


Рис. 42. Кривая момента асинхронного двигателя.

Пусковая обмотка представляет собой медные или латунные стержни, вставленные в полюсные наконечники и схваченные по бокам медными кольцами (рис. 43).

Пусковая обмотка напоминает собой обмотку короткозамкнутого асинхронного двигателя. При пуске вращающееся магнитное поле, создаваемое обмоткой статора, индуктирует в пусковой обмотке э. д. с. и ток и этим создает момент вращения.

Таким образом синхронный двигатель во время пуска работает так же, как и асинхронный двигатель, и отличается от него только несколько видоизмененной магнитной цепью (явно выраженные полюса, неравномерный и обычно более значительный воздушный зазор) и тем, что пусковая обмотка распределяется не по всей окружности ротора, а только на полюсных башмаках. Обмотка постоянного тока при пуске замыкается через сопротивление.

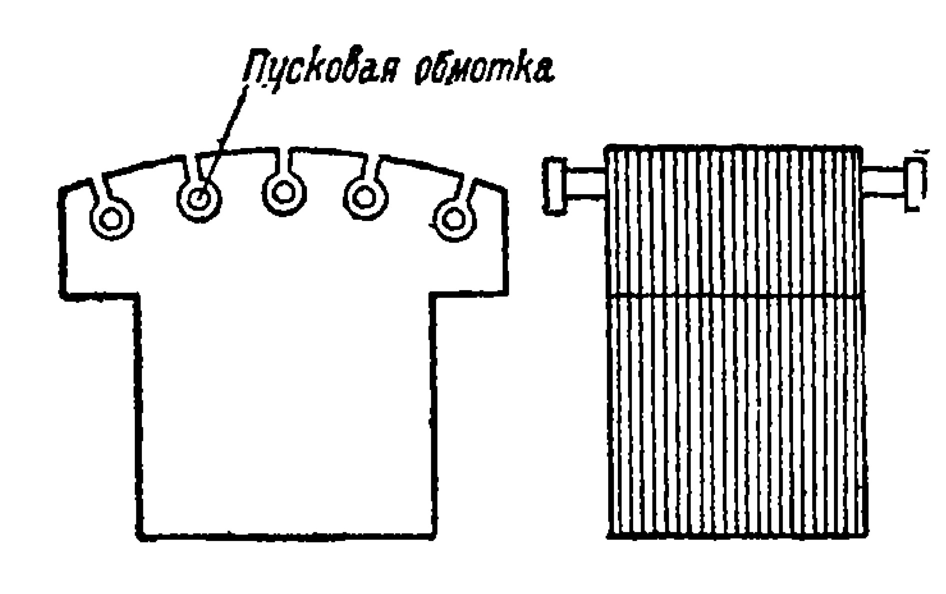


Рис. 43. Пусковая обмотка синхронного двигателя.

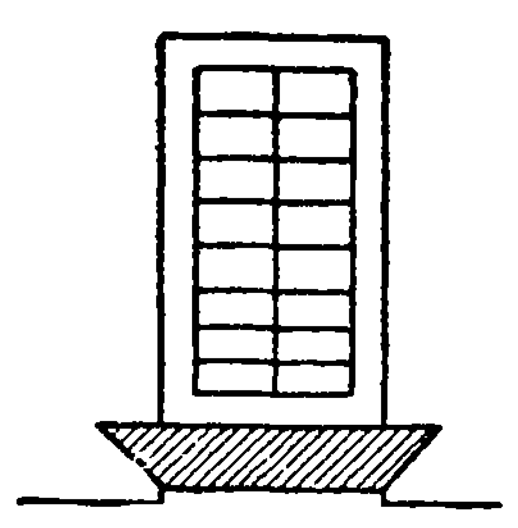
В нормальном режиме работы, т. е. при синхронной скорости, обмотка статора продолжает работать так же, как и при пуске. Она создает вращающееся магнитное поле, увлекающее за собой ротор, который в этом режиме имеет магнитное поле, созданное обмоткой постоянного тока.

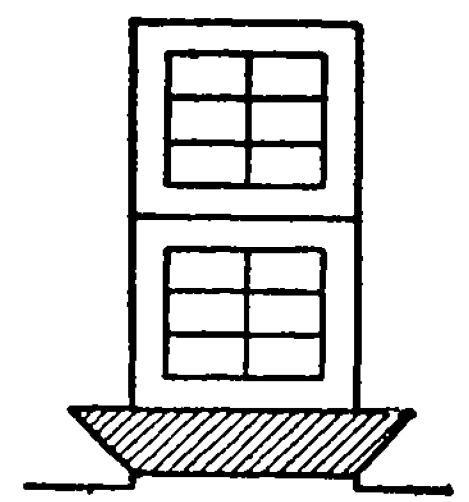
Таким образом при пуске момент вращения образуется от взаимодействия токов пусковой обмотки и магнитного потока обмотки статора, а при синхронной скорости — от взаимодействия двух синхронно-вращающихся магнитных полей: поля обмотки статора и поля обмотки постоянного тока.

Требования, предъявляемые к обмотке статора в отношении создания по возможности синусоидально распределенного магнитного

потока, становятся менее жесткими, чем в асинхронном двигателе, а в отношении создания по возможности синусоидально изменяющейся э. д. с. — менее жесткими, чем в синхронном генераторе.

Обмотка по существу представляет собой ряд катушек, должным образом расположенных и соединенных между собой. В зависимости от числа фаз обмотка разбивается на ряд совершенно самостоятельных обмоток, соответствующим образом расположенных относительно друг друга. Число катушек в каждой фазе и способ их соединения между собой зависят от данных машины: мощности, напряжения, числа оборотов — и в каждом отдельном случае определяются электрическим расчетом машины.


Рис. 44. Однослойная обмотка


Рис. 45. Двухслойная обмотка.

По способу укладки катушек в пазы обмотки разделяются на однослойные и двухслойные.

Однослойной обмоткой называется обмотка, у которой сторона катушки занимает весь паз (рис. 44). Двухслойной обмоткой называется обмотка, у которой сторона катушки занимает половину паза (рис. 45).

2. ТРЕХФАЗНЫЕ ОДНОСЛОЙНЫЕ ОБМОТКИ СТАТОРОВ СИНХРОННЫХ МАШИН

А. Электродвижущая сила, индуктируемая в одном проводнике

Предположим, что магнитный поток, создаваемый обмоткой ротора, вращается с равномерной скоростью по отношению к статору. Будем считать, что машина имеет два полюса: северный N и южный S. Далее будем считать, что магнитная цепь, а также обмотка ротора и сборка машины выполнены правильно, так что магнитный поток каждого полюса распределяется по кривой одинакового вида (в таких случаях говорят, что магнитное поле полюсов симметрично). Кроме того, будем предполагать, что магнитный поток каждого полюса распределяется в воздушном зазоре синусоидально.

Если поместить в один из пазов статора проводник, то при вращении ротора проводник будет пересекаться магнитными силовыми линиями поля ротора. Известно, что при этом в проводнике будет индуктироваться э. д. с. Величина этой э. д. с. в каждый момент времени будет зависеть от величины магнитной индукции в точке расположения проводника. Отсюда получаем, что э. д. с. в проводнике будет изменяться во времени так же, как распределяется магнитный поток в воздушном зазоре машины. Если, как мы предположили, магнитный поток полюсов распределяется синусоидально, то и э. д. с. в проводнике будет изменяться во времени также синусоидально.

Значение синусоидальной э. д. с. в любой момент времени, или иначе — мгновенное значение э. д. с., дается следующим выражением

$$e = E_{max} \cdot \sin \alpha. \qquad (40)$$

Здесь

$$E_{max} = B_{max} \cdot lv \cdot 10^{-8} \text{ вольт},$$

где: E_{max} — максимальное значение э. д. с.;

α — угол поворота ротора;

B_{max} — максимальное значение магнитной индукции под центром полюсного башмака в гауссах;

l — длина активной части проводника в сантиметрах;

v — скорость движения магнитного поля полюсов по отношению к проводнику в сантиметрах в секунду;

10^{-8} — множитель, позволяющий получать э. д. с. в вольтах, а не в абсолютных единицах.

Действующее, или эффективное, значение э. д. с. (измеряемое вольтметром) меньше E_{max} в $\sqrt{2}$

$$E = \frac{E_{max}}{\sqrt{2}}.$$

На рис. 46 показаны различные положения ротора по отношению к статору. На рис. 46, *а* представлен статор в выпрямленном виде.

В положении, показанном на рис. 46, *б*, проводник *1* находится на нейтральной линии, т. е. в средней точке междуполюсного промежутка, и поэтому магнитная индукция B и э. д. с. проводника равны нулю. От этого положения будем отсчитывать углы поворота ротора. Через промежуток времени, в течение которого ротор переместится на половину полюсного деления или на угол $\alpha = 90°$, проводник попадает под магнитную индукцию $+B_{max}$, и э. д. с. проводника становится равной $+E_{max}$ (рис. 46, *b*).

В дальнейшем полюсное деление будем обозначать через τ. Оно находится из следующего выражения:

$$\tau = \frac{\pi D_i}{2p}, \tag{41}$$

где: D_i — внутренний диаметр железа статора;

$2p$ — число полюсов машины.

В положении ротора, показанном на рис. 46, *г*, которое отличается от положения рис. 46, *б* тем, что ротор переместился на целое полюсное деление τ или на угол $\alpha = 180°$, магнитная индукция B в точке расположения проводника опять делается равной нулю, вследствие чего и э. д. с. проводника в этот момент времени становится равной нулю.

В положении ротора, показанном на рис. 46, *д*, т. е. через промежуток времени, в течение которого ротор сместился из исходного положения (рис. 46, *б*) на $\frac{3}{2}\tau$ или на угол $\alpha = 270°$, проводник попадает под максимальную магнитную индукцию $-B_{max}$ и поэтому э. д. с. проводника в этот момент становится равной $-E_{max}$.

При дальнейшем перемещении ротора на $\frac{1}{2}\tau$ проводник снова попадает на прежнюю нейтральную линию. В этот момент времени э. д. с. проводника становится равной нулю.

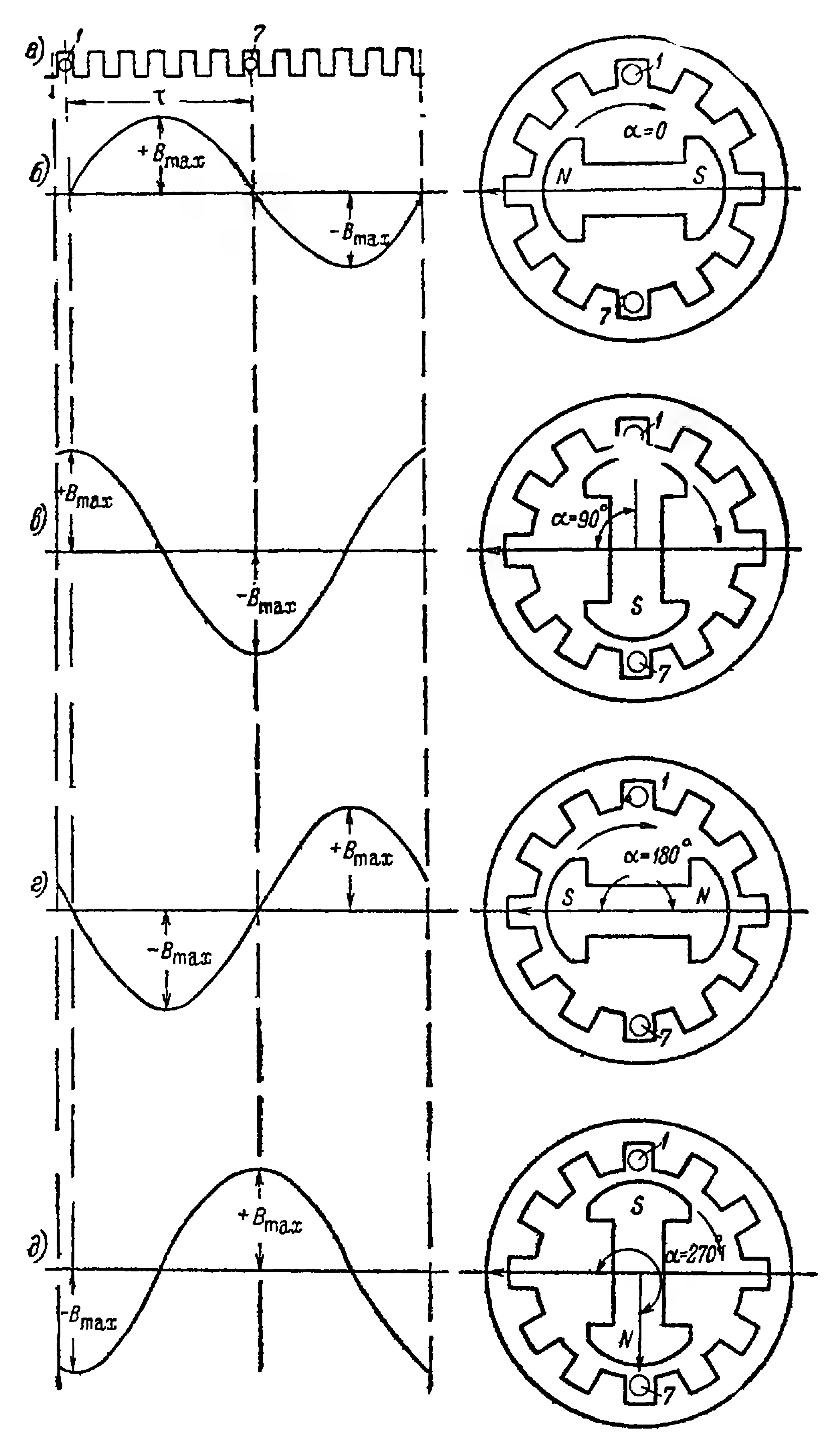


Рис. 46. Изменение э. д. с. одного проводника.

При дальнейшем перемещении ротора мы будем получать точное повторение изменения э. д. с. проводника как по величине, так и по направлению.

Промежуток времени, через который начинается повторение изменения э. д. с., называется **периодом** и обозначается обычно через T.

Из рис. 46 видно, что продолжительность одного периода T равняется тому промежутку времени, в течение которого ротор перемещается на два полюсных деления.

Обозначим число полюсов машины через $2p$, тогда длина двух полюсных делений, выраженная в геометрических градусах, составит $\frac{360}{p}$ геометрических градусов.

С другой стороны, одному периоду соответствует изменение угла α синусоиды от 0 до 360°.

Таким образом за один и тот же промежуток времени ротор перемещается на $\frac{360}{p}$ градусов, а угол α в выражении $e = E_{max} \sin \alpha$ изменяется на 360°. Для устранения такого неравенства углов в электротехнике вводят так называемые электрические градусы, причем электрическим градусом называется $\frac{1}{360}$ часть двойного полюсного деления.

При двухполюсной машине, как нетрудно видеть, число электрических и геометрических градусов совпадает.

Между электрическим и геометрическим градусами существует следующее соотношение:

$$\alpha = p\alpha', \tag{42}$$

где α — угол, выраженный в электрических градусах;

α' — тот же угол, выраженный в геометрических градусах;

p — число пар полюсов.

В дальнейшем изложении все углы будем считать в электрических градусах.

Если теперь предположить, что магнитный поток полюсов распределяется не по синусоидальной кривой, то очевидно и э. д. с. проводника будет изменяться во времени по такой же несинусоидальной кривой.

Таким образом можно сказать, что **э. д. с. проводника изменяется во времени по кривой, которая по своему виду одинакова с кривой распределения магнитной индукции поля ротора.**

Поэтому прежде чем переходить к изучению обмотки, рассмотрим сначала кривые действительного распределения магнитной индукции поля ротора современных синхронных машин.

Б. Кривая поля

Кривую распределения магнитной индукции в воздушном зазоре машины будем называть кривой поля. Во всех современных синхронных машинах стремятся получить синусоидальную кривую поля. Это объясняется тем, что при синусоидальной кривой поля потери

в машине получаются меньше, чем при несинусоидальной. Кроме того, при синусоидальной кривой поля магнитный поток ротора используется лучше, чем при несинусоидальной.

В синхронных машинах с явновыраженными полюсами — тихоходных, — для того чтобы получить по возможности более синусоидальную кривую поля, полюсным наконечникам полюсов придают специальное очертание. Под серединой полюса (рис. 47) зазор выбирают примерно в 1,5 раза меньше, чем под краями. На рис. 47 сверху изображена кривая поля при таких полюсных наконечниках, а для сравнения на рис. 48 показана кривая поля при равномерном зазоре.

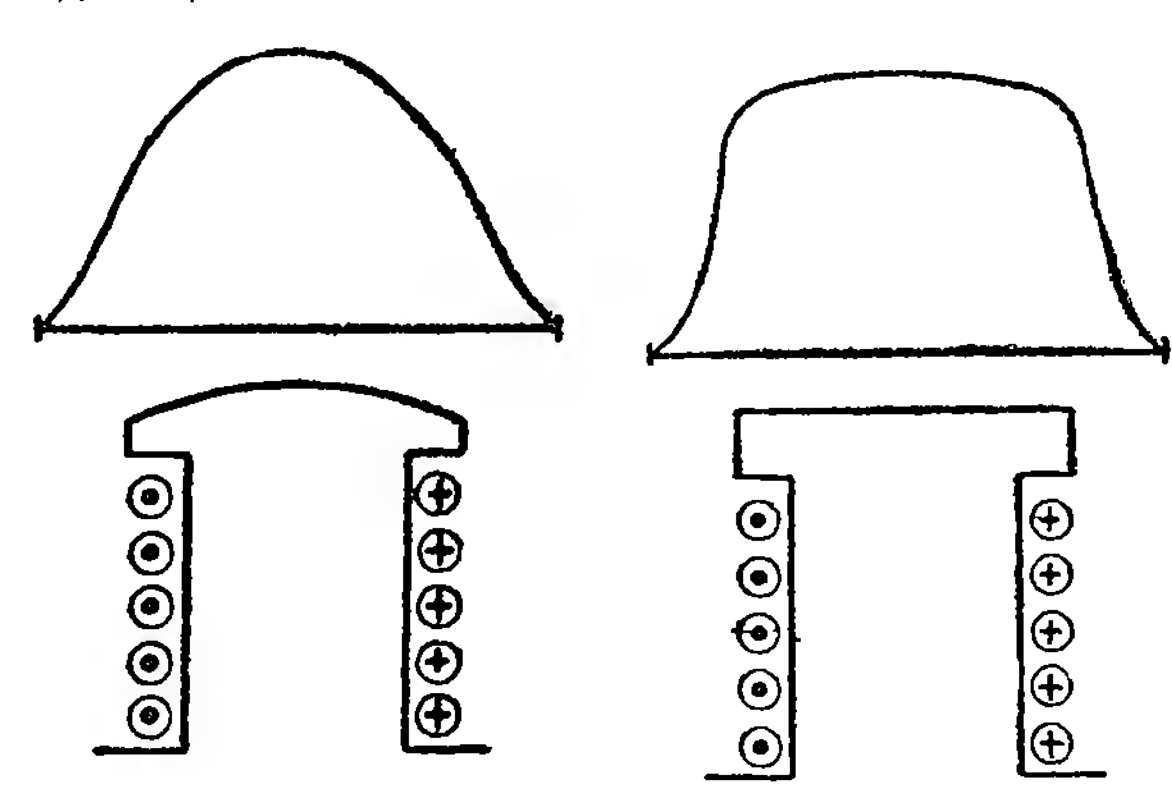


Рис. 47. Кривая поля полюса при неравномерном зазоре.

Рис. 48. Кривая поля полюса при равномерном зазоре.

При сопоставлении кривых поля видно, что при равномерном зазоре кривая поля менее синусоидальна.

В синхронных машинах с неявновыраженными полюсами— быстроходных — для синусоидальности кривой поля обматывают примерно только $^{2}/_{3}$ ротора (рис. 49). Существует еще ряд мер, улучшающих вид кривой поля, но они в практике не получили большого применения.

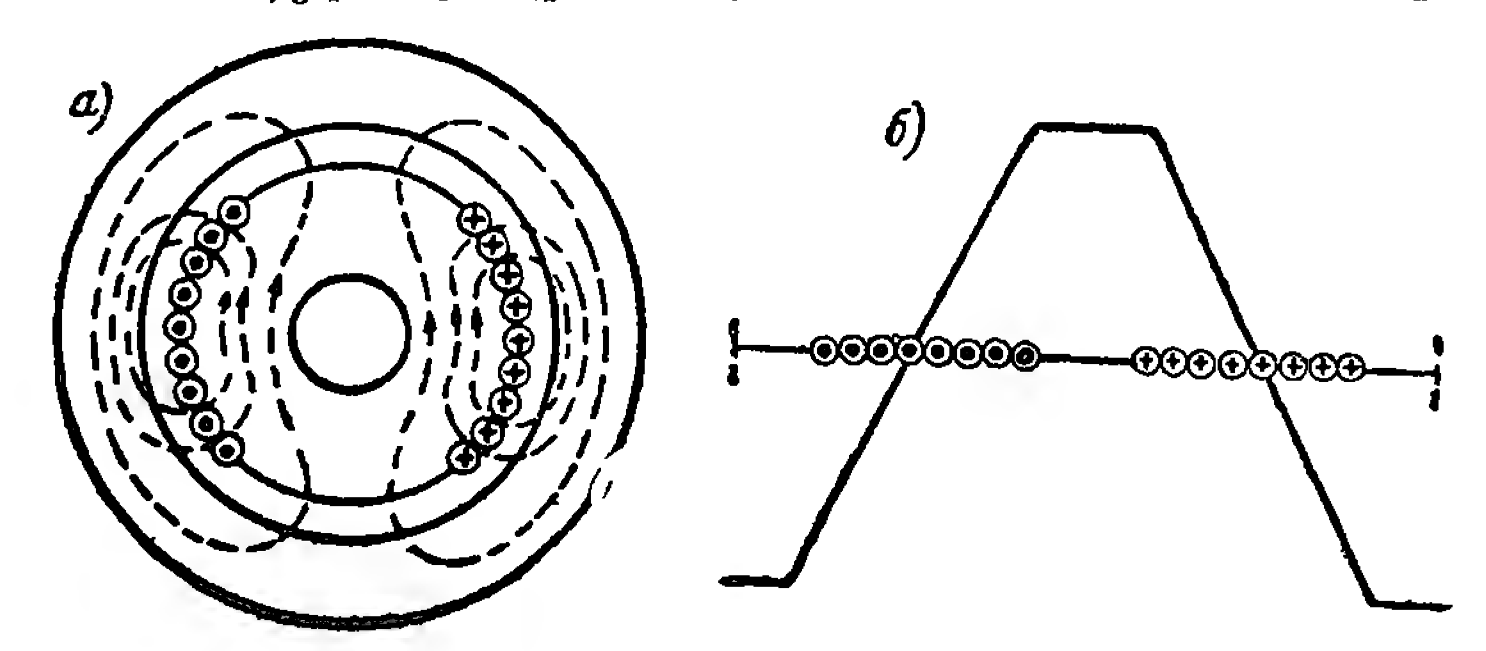


Рис. 49. Ротор с неявновыраженными полюсами:
а) распределение силовых линий;
б) кривая поля.

Несмотря на эти принятые меры, нельзя быть уверенным в том, что кривая поля будет синусоидальной. Это объясняется тем, что на кривую поля оказывает влияние магнитное сопротивление не только воздушного зазора между статором и ротором, но и всех остальных участков магнитной цепи: зубцов и спинки статора, сердечника и обода ротора,

а также выполнение соединения сердечника полюса с ободом ротора. Поэтому необходимо считаться с возможной несинусоидальностью кривой поля.

В большей степени можно быть уверенным в том, что кривая поля каждого полюса ротора будет совершенно одинаковой по форме. Для этого требуется тщательное выполнение машины.

Если сравнить между собой кривые поля синхронных машин, то можно заметить следующие особенности, которые характерны для большинства этих кривых: 1) кривые поля различных полюсов одинаковы по форме, 2) кривые поля симметричны относительно оси полюса, 3) кривая поля имеет более приплюснутый вид, чем синусоида.

Первая особенность объясняется тем, что при тщательном выполнении машины магнитная цепь каждого полюса получается совершенно одинаковой.

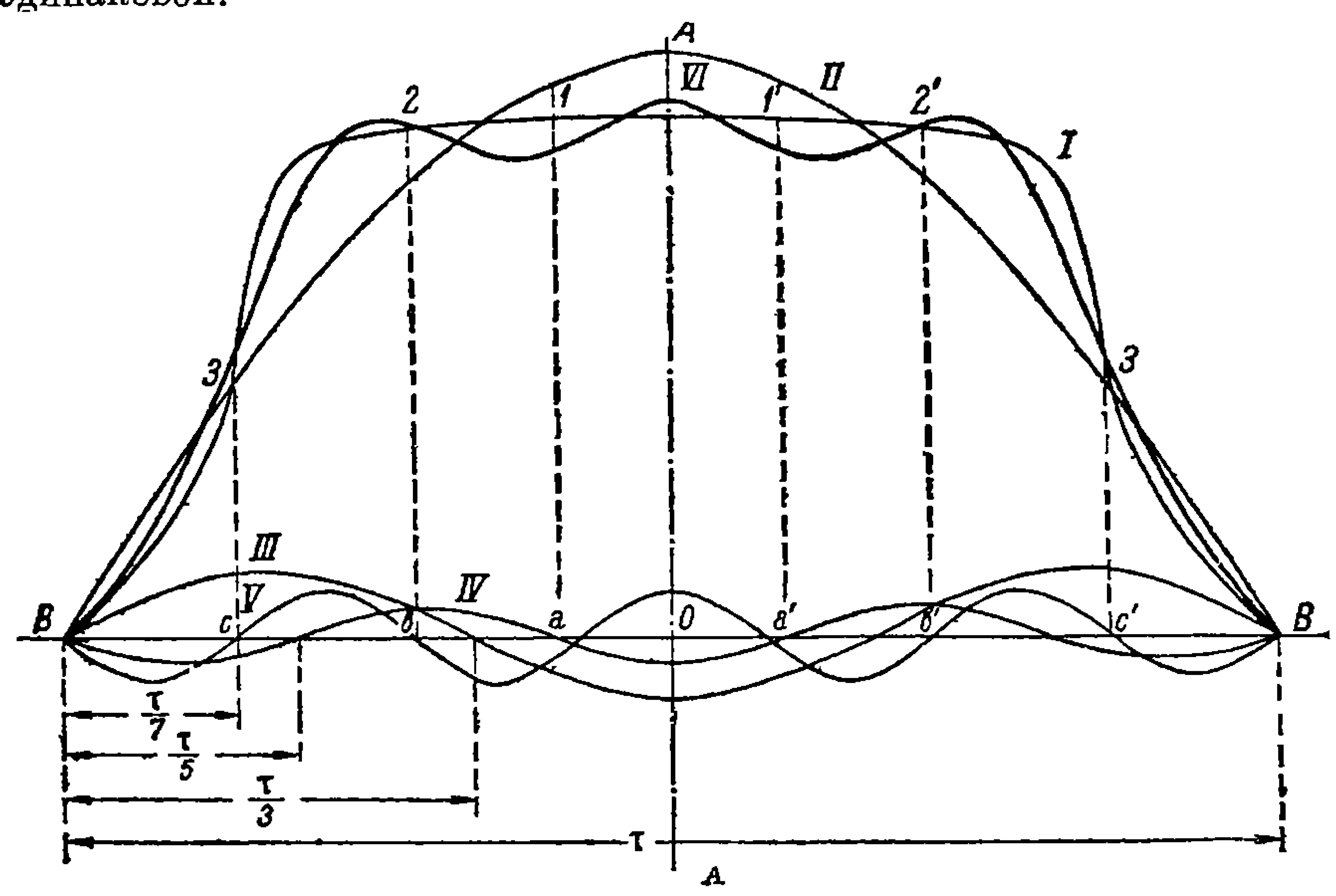


Рис. 50. Кривая поля синхронной машины.

Если говорят, что кривая симметрична относительно какой-нибудь оси, то это указывает на равенство ординат в точках кривой, одинаково удаленных от этой оси.

Предположим, что статор выполнен гладким, т. е. без пазов, тогда кривая поля изобразится кривой *I* рис. 50. Проведем ось полюса *AA*. Отложим на горизонтальной оси *BB* точки a, a', b, b', c, c', и т. д., причем $Oa = Oa'$, $Ob = Ob'$, $Oc = Oc'$ и т. д.

Если ординаты $a1 = a'1'$; $b2 = b'2'$; $c3 = c'3'$ и т. д., то кривая является симметричной относительно оси полюса. Эта симметрия кривой объясняется в машине тем, что магнитная цепь между каждыми двумя соседними полюсами ротора одинакова. Поэтому каждая половина магнитного потока полюса, замыкаясь через соседний полюс, встречает одно и то же магнитное сопротивление.

Приплюснутый вид кривой поля часто объясняется, с одной стороны, формой очертания полюса, с другой стороны, всегда вызывается насыщением магнитной цепи машины. Действительно, при насыщенной магнитной цепи машины магнитное сопротивление в железе становится более заметным в общем магнитном сопротивлении, чем при менее насыщенной машине.

Чем ближе к оси полюса, тем длиннее силовые линии и тем больше магнитное сопротивление для них. Вследствие того, что магнитное сопротивление для всех силовых линий должно быть одинаковым, магнитная индукция центральных силовых линий будет меньше, чтобы тем самым скомпенсировать увеличенную длину. Этим и вызывается приплюснутый вид кривой поля.

Выше мы выяснили, что в каждом проводнике обмотки индуктируется э. д. с., которая изменяется во времени так же, как распределяется магнитная индукция в зазоре машины. В нашем случае э. д. с. будет изменяться во времени по кривой, которая является копией кривой поля. При соответствующем подборе масштаба для э. д. с. кривая поля может одновременно служить и кривой изменения э. д. с. проводника во времени. Как видно из рис. 50, э. д. с. проводника изменяется во времени по сложной несинусоидальной кривой. Пользоваться такой кривой крайне затруднительно.

В теории синхронных машин доказывается, что э. д. с. в проводнике обмотки статора практически будет той же самой, если мы кривую поля *I* заменим кривой *VI*, которая является суммой четырех синусоид *II*, *III*, *IV* и *V*.

При этом основание, или шаг синусоиды *II* равняется полюсному делению τ, шаг синусоид *III*, *IV* и *V* в 3, 5 и 7 раз меньше τ.

Синусоиду *II* обычно называют основной или главной синусоидой. По этой кривой распределялся бы действительный магнитный поток полюса, если бы он был синусоидальным.

Как увидим ниже, наличие в статоре зубцов и пазов вносит в кривую поля и в кривую изменения э. д. с. добавочные искажения, так что изображенная на рис. 49 кривая поля справедлива только при гладком статоре.

В. Электродвижущая сила одной катушки

Обычно обмотка статора укладывается в пазах, выштампованных в активном железе статора. Число пазов и их размеры определяются при расчете машины, исходя из той обмотки, которая по расчету должна применяться для этой машины.

Катушка, как известно, представляет собой несколько последовательно соединенных витков, стороны которых лежат в одних и тех же пазах. Если сечение проводника витка получается большим, то для удобства намотки проводник разбивают на несколько параллельных проводников меньшего сечения. В таких случаях говорят, что каждый виток состоит из ординарного, двойного, тройного и т. д. проводника. Число эффективных (действительных) проводников в пазу и число эффективных витков в катушке остается тем же, что и при ординарном проводнике. К такому же дроблению сечения проводников прибегают также для уменьшения потерь в обмотке, так как при переменном

токе потери в проводниках большого сечения больше, чем потери в нескольких параллельных проводниках того же общего сечения. Исходя их этих же соображений, прямоугольные проводники следует укладывать в пазу плашмя.

На рис. 51 изображена катушка, состоящая из шести двойных витков.

Обычно та часть катушки, которая лежит в пазах и которая пересекается главным магнитным потоком, называется активной частью, а та, которая лежит вне пазов и служит только для соединения между собой активных частей, называется лобовой частью. Рабочий процесс выполнения катушек ставит форму лобовых частей в зависимость от многочисленных факторов, и то многообразие типов обмоток, которое мы встречаем в практике, во многих отношениях определяется различным выполнением лобовых частей. Поэтому вид катушки, изображенной на рис. 51, является только принципиальным.

Назовем стороной катушки проводники, лежащие в одном пазу. Так как катушка состоит из двух сторон, то э. д. с. катушки будет зависеть от э. д. с. отдельных сторон. Поэтому для того чтобы узнать, чему будет равна э. д. с. катушки и как она будет изменяться во времени, необходимо сначала выяснить, чему будут равны э. д. с. отдельных сторон и как эти э. д. с. будут изменяться во времени и складываться друг с другом.

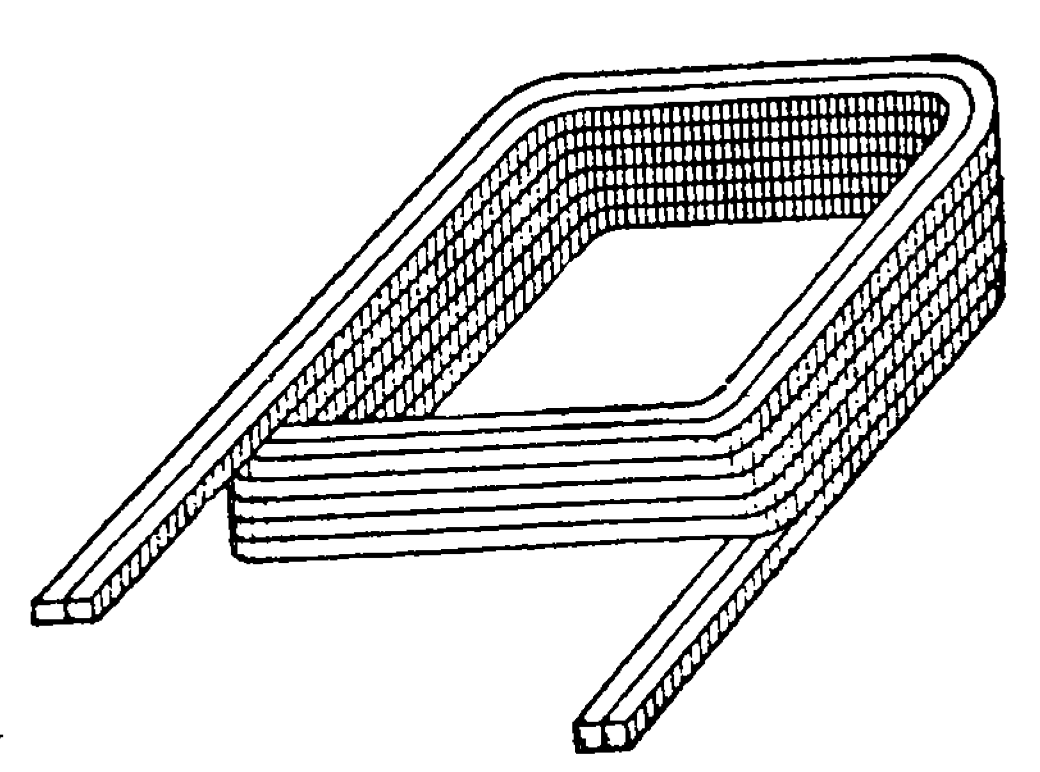


Рис. 51. Катушка, состоящая из шести двойных витков.

Если концы проводников, находящиеся по одну сторону статора, обозначить началом, а находящиеся по другую сторону — концами, то, как видно из рис. 51, конец одного проводника соединяется с концом другого. Поэтому, если направление э. д. с. проводников совпадает, то э. д. с. катушки будет равна их разности, если же они направлены противоположно, то сумме этих э. д. с.

Такое соединение сторон катушки будем называть согласным.

Вполне очевидно, что для лучшего использования обмотки вторую сторону нужно расположить так, чтобы в каждый момент времени э. д. с. была направлена противоположно э. д. с. первой стороны и была той же самой величины. В этом случае э. д. с. катушки в каждый момент времени будет в два раза больше э. д. с. отдельной стороны.

Выше мы выяснили, что электродвижущая сила, которая индуктируется в отдельном проводнике, изменяется во времени так же, как меняется магнитная индукция, под которую попадает проводник. Поэтому вторую сторону катушки мы должны поместить в такой паз, чтобы магнитная индукция, под которую попадает эта сторона, в каждый момент времени была одинакова по величине и противопо-

ложна по направлению магнитной индукции, под которую попадает в этот же момент времени первая сторона катушки.

На рис. 52 изображен статор и ротор четырехполюсной синхронной машины с явновыраженными полюсами.

Из рис. 52 видно, что если мы проводник поместим в точку *1*, то точками, в которых индукция будет той же величины, но другого направления, будут точки *2* и *4*. Все три точки *1*, *2* и *4* находятся в данный момент времени на оси полюсов. Нетрудно увидеть, что расстояние от точки *1* до точки *2*, с одной стороны, и до точки *4*, с другой, равно полюсному делению τ. Так как магнитное поле каждого полюса распределяется по полюсному делению τ по одинаковой кривой, то, располагая проводники на расстоянии полюсного шага, мы всегда будем получать, что проводники пересекаются одинаковыми по величине и противоположными по направлению магнитными полями. Поэтому для образования катушки мы можем взять или стороны *1—2* или стороны *1—4*. Если взять стороны *1—2*, то другая катушка образуется из сторон *3—4*. Если же взять стороны *1—4*, то другая катушка составится из сторон *2—3*.

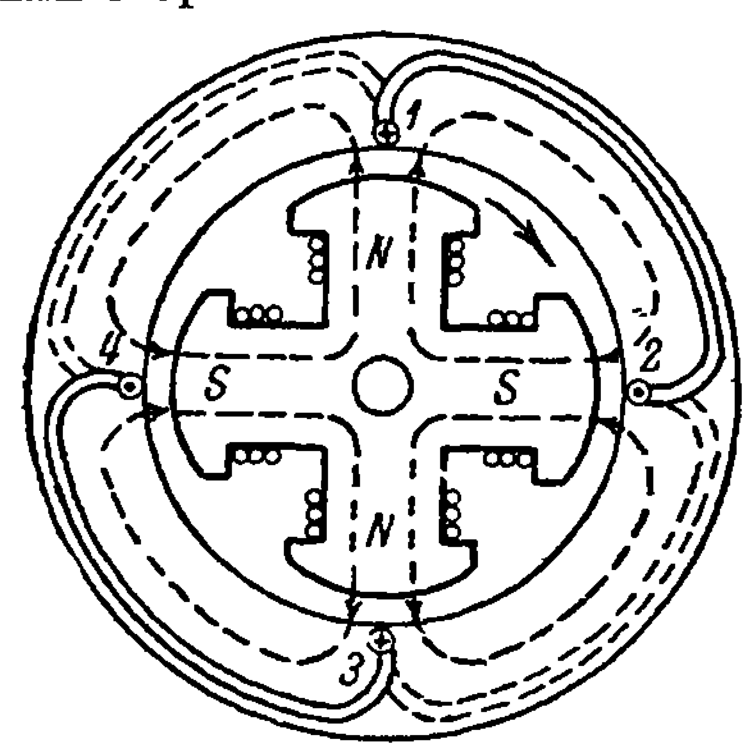


Рис. 52. Катушки четырехполюсной машины.

На рис. 52 сплошным показаны катушки, образованные сторонами *1—2* и *3—4*, и пунктиром — катушки, образованные сторонами *1—4* и *2—3*.

Только располагая стороны катушки на расстоянии полюсного деления, мы получим, что э. д. с. катушки в два раза больше э. д. с. отдельной стороны.

При всяком другом расположении сторон мы всегда получим, что в некоторые моменты времени э. д. с. отдельных сторон будут иметь одинаковое направление, и э. д. с. катушки будет равна уже не сумме, а разности этих э. д. с.

Обычно ширину катушки, или расстояние между ее сторонами, называют еще шагом катушки и выражают числом пазов, которое нужно прибавить к номеру паза, где лежит первая сторона катушки, чтобы получить номер паза, где лежит вторая сторона той же катушки.

Если обозначить паз, где лежит первая сторона катушки, через *1*, то согласно рис. 46 вторая сторона должна находиться в пазу *7*, т. е. катушка должна иметь шаг, равный 7—1 =6.

В тех случаях, когда ширина катушки равняется полюсному делению τ, говорят, что катушка имеет диаметральный шаг. Здесь нужно заметить, что термин «диаметральный шаг» в буквальном смысле применим только для двухполюсных машин, когда стороны катушки действительно лежат по диаметру статора. Но в теории обмоток этот термин сохраняют и для многополюсных машин, подразумевая под ним, что ширина катушки равняется ширине полюсного деления.

Из рис. 46 видно, что при диаметральном шаге катушки э. д. с. катушки в каждый момент времени равняется сумме э. д. с. отдельных

сторон и что при синусоидальном распределении магнитной индукции э. д. с. катушки изменяется во времени синусоидально.

Рассмотрим теперь, как будет вести себя катушка с диаметральным шагом в несинусоидальном магнитном поле.

Возьмем наиболее характерную кривую поля, которая изображена на рис. 50. Исходя из этой кривой, получим, что в каждой стороне катушки будет индуктироваться э. д. с., которая будет изменяться во времени несинусоидально.

Так как для каждого полюса кривая поля остается той же самой по форме, то при диаметральном шаге катушки ее стороны всегда будут попадать под одни и те же по величине магнитные индукции. Поэтому, так же как и при синусоидальной кривой поля, э. д. с. катушки в каждый момент времени будет равна сумме э. д. с. сторон. Так как э. д. с. сторон изменяется несинусоидально, то и э. д. с. катушки будет изменяться во времени несинусоидально.

Отсюда можно заключить следующее: *при диаметральном шаге катушки э. д. с. катушки всегда в два раза больше э. д. с. сторон и изменяется во времени по кривой, которая по своему виду одинакова с кривой поля.*

Г. Катушечные группы

Производя электрический расчет машины, обычно задаются определенными значениями магнитной индукции в различных участках магнитной цепи, как то: в воздушном зазоре, в зубцах и спинке статора, в полюсах и спинке ротора. Выбирая затем полюсный шаг и длину машины, определяют величину магнитного потока полюса и по нему и напряжению на зажимах — число последовательно соединенных витков в фазе обмотки.

В двухполюсной машине это число витков мы могли бы осуществить одной катушкой, в четырехполюсной — двумя катушками, расположенными друг от друга на расстоянии двух полюсных шагов; вообще в машине с $2p$ полюсами необходимое число витков можно получить, наматывая p катушек. Практически, однако, наматывают $2p$, $3p$, $4p$, $5p$ и т. д. катушек. Этим самым число витков катушки уменьшают в 2, 3, 4, 5 и т. д. раз. Это объясняется тем, что если бы мы намотали только p катушек, то число витков в катушке получилось бы очень большим. Пазы статора получили бы такие большие размеры, что потребовалось бы увеличить габариты машины. Кроме того, объем тока в пазу (произведение силы тока на число эффективных проводников в пазу) стал бы настолько большим, что обмотка могла бы перегреться. Если же каждую такую большую катушку разбить на несколько более маленьких и поместить их рядом друг с другом, то как в смысле габаритов машины, так и в смысле нагрева обмотки положение значительно улучшится.

На рис. 53, *а* показан случай, когда все число витков фазы четырехполюсной машины укладывается в двух катушках; на рис. 53, *б* показано разделение каждой катушки рис. 53, *а* на три отдельных катушки, расположенных рядом, т. е. взято $3p$ катушек. Обычно такую группу катушек называют *катушечной группой.*

С другой стороны, с увеличением числа катушек обмотки увеличивается количество наиболее дорогого материала — изоляции, что приводит к удорожанию обмотки.

Таким образом с одной стороны желательно увеличивать число катушек, а с другой, наоборот, — уменьшать. Поэтому выбор числа катушек является сложным вопросом, требующим учета многочисленных факторов, что и входит в непосредственную задачу проектирования машины.

Для нас сейчас важно знать, что на каждую пару полюсов и на каждую фазу берут по несколько катушек.

Здесь нужно отметить, что существуют обмотки (о них будет сказано ниже), у которых число катушек под различными парами полюсов

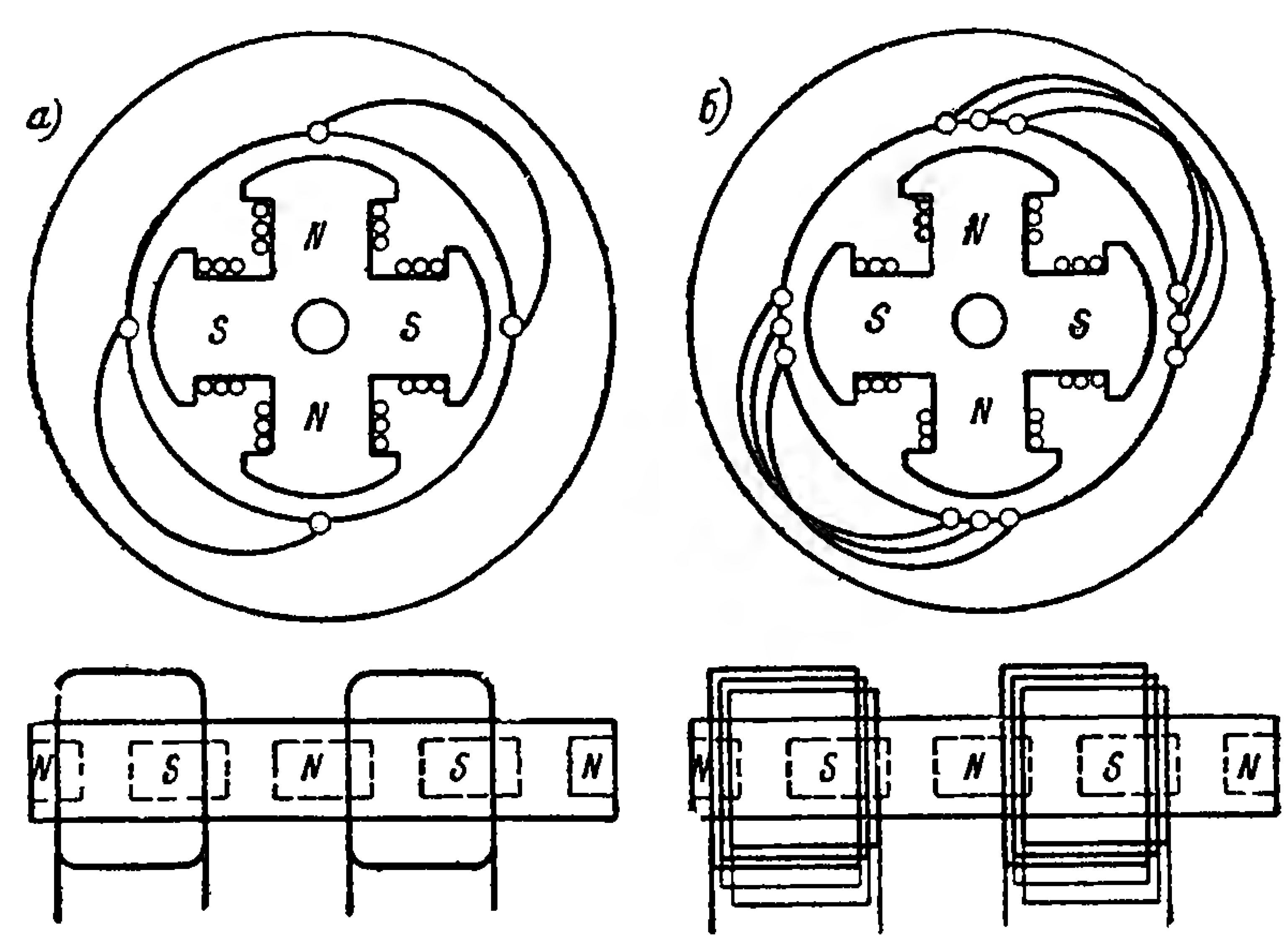


Рис. 53. Катушечные группы четырехполюсной машины.

берут неодинаковым, а также обмотки, у которых не все катушки катушечной группы располагаются в соседних пазах.

Как правило, все катушки катушечной группы соединяются последовательно. Только в двухполюсных машинах, у которых каждая фаза имеет по одной катушечной группе, приходится прибегать к параллельным ветвям.

При последовательном соединении катушек необходимо катушки соединить таким образом, чтобы э. д. с. всех катушек складывались. На рис. 54 показана катушечная группа, состоящая из трех катушек. Обозначим левые стороны катушек — начала через H_1, H_2 и H_3, а правые стороны — концы через K_1, K_2 и K_3. Так как направление э. д. с. сторон H_1, H_2 и H_3 будет одинаковым, так же как и э. д. с. сторон K_1, K_2 и K_3, то для последовательного соединения катушек нужно K_1 соединить с H_2, K_2 с H_3. Началом катушечной группы будет H_1, а концом — K_3.

Если мы одну катушку заменяем q катушками, то обе стороны их должны находиться в абсолютно одинаковых положениях в магнитном поле. Каждой стороне, лежащей под одним полюсом, например N, должна соответствовать такая сторона под другим полюсом S, которая находилась бы под действием такой же по величине магнитной индукции. Предположим, что мы сторону *а* одной катушки (рис. 55) заменили q сторонами q катушек, причем все эти стороны легли в пазах, заключенных на участке статора *1—2*. Тогда для замены остальных сторон *б*, *в* и *г* мы должны взять по q сторон и расположить их в пазах, занимающих участки статора *3—4*, *5—6* и *7—8*. При этом расстояние *1—3*, *1—7*, а также *3—5* и *5—7* должно равняться полюсному делению τ, а участки *3—4*, *5—6* и *7—8* должны равняться участку *1—2*.

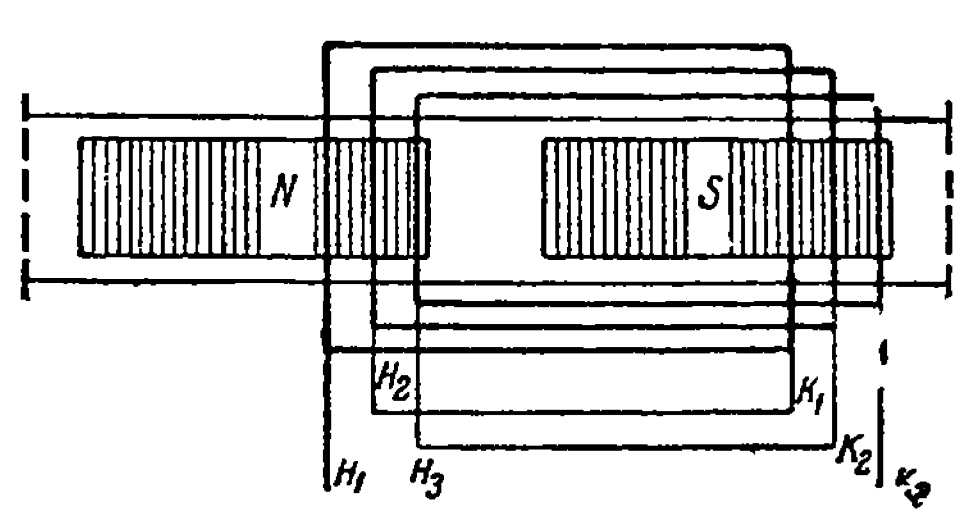


Рис. 54. Последовательное соединение катушек катушечной группы.

При таком расположении сторон катушек они будут находиться в одинаковых магнитных условиях.

При образовании катушечной группы мы можем любую сторону на участке *1—2* соединить с любой стороной участка *3—4* или *7—8*. Мы можем, так же как и при образовании катушки, часть сторон участка *1—2* соединить с частью сторон участка *3—4*, а оставшиеся — со сторонами участка *7—8*. Необходимо только, чтобы каждой стороне участка *1—2* была выбрана сторона участков *3—4* или *7—8*, находящаяся в тех же магнитных условиях.

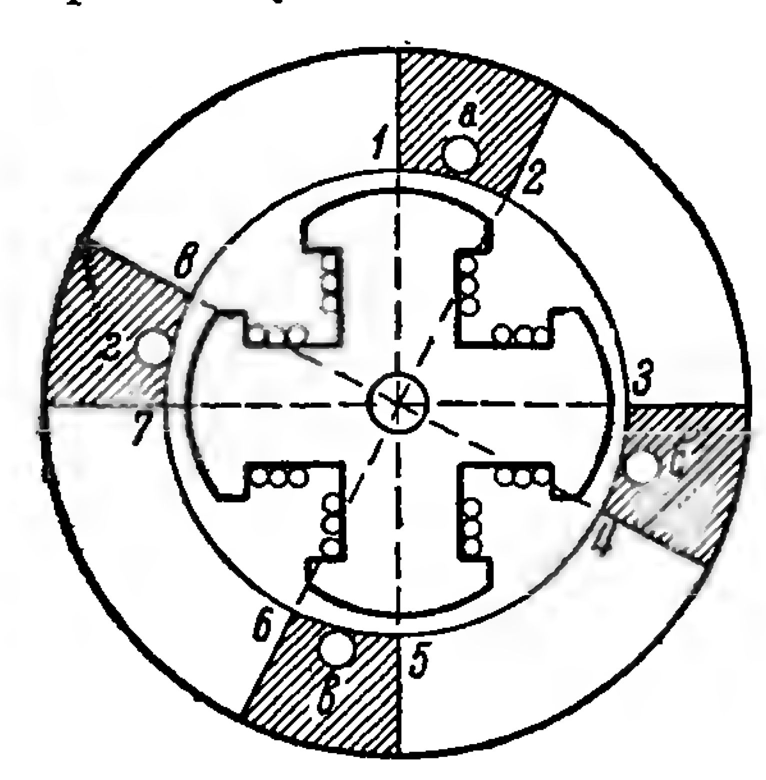


Рис. 55. Образование катушечных групп одной фазы.

На рис. 56 показана кривая магнитного поля. Заштрихованные части этой кривой соответствуют тем частям магнитного поля, которые находятся в данный момент времени над соответствующими частями статора, где уложены стороны катушек. Заштрихованные части совершенно одинаковы, так как мы выбрали участки, отстоящие друг от друга на полюсное деление τ. Предположим, что мы образуем катушечную группу из трех катушек. Тогда на каждый участок статора будет приходиться по три паза. Стороны, лежащие в пазах и удаленные друг от друга на расстояние полюсного шага, будут находиться в одинаковых магнитных условиях. Если мы образуем катушечную группу из сторон участка *1—2* и, например, участка *3—4*, то для этого можем использовать любую из катушек: *а—г*, *б—д*, *в—е* или *а—е*, *б—д*, *в—г* и т. д.

Если же мы образуем катушечную группу (вернее сказать — группы) из сторон участка *1—2* и сторон участков *3—4* и *7—8*, то здесь

уже не будет такой свободы в образовании групп. Действительно, мы можем образовать только следующие группы катушек: *а—ж*, *б—д*, *в—е* или же *а—ж*, *б—з*, *в—е*, но нельзя взять группы: *а—ж*, *б—з*, *в—д*, так как нужно соблюдать правило, которое требует, чтобы сумма индукций, под которыми лежат стороны участка *1—2*, была равна сумме индукций, под которыми лежат соединяемые стороны на других участках. Так, например, при выбранном расположении сторон индукции $аа' = жж' = гг'$, $бб' = зз' = дд'$, $вв' = ии' = ее'$, поэтому сумма индукций $аа' + бб' + вв'$ будет равна другой сумме только в том случае, если мы каждый член нашей суммы заменим другим, пользуясь указанными равенствами, и только в этом случае суммы э. д. с. каждой стороны катушечной группы будут равны между собой, а э. д. с. всей катушечной группы будет равна удвоенной сумме э. д. с. одной стороны. Другими словами, только в этом случае мы получим максимальное использование магнитного потока. Таким образом, хотя при таком образовании катушечной группы некоторые катушки

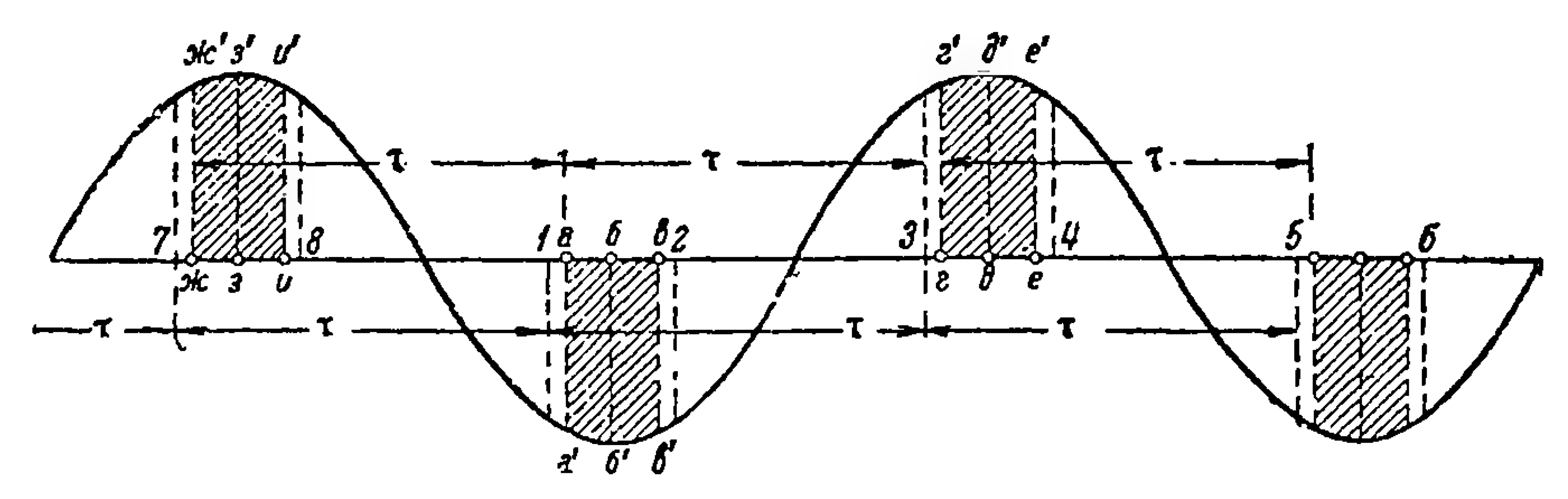


Рис. 56. Пояснение образования катушечных групп.

или все будут иметь не диаметральный, а укороченный шаг, например катушки *а—е*, *в—г*, *а—и*, *в—ж*, все-таки в электрическом отношении вся катушечная группа будет эквивалентна катушечной группе с диаметральными катушками *а—ж*, *б—з*, *в—и* или *а—г*, *б—д*, *в—е*.

Участки статора, на которых располагаются стороны катушечных групп, называются **фазными зонами**. Участки *1—2*, *3—4*, *5—6* и *7—8* рис. 55 являются фазными зонами одной фазы. **Если на этих участках лежат стороны катушек одной фазы, то такие обмотки будем называть обмотками со сплошными фазными зонами.**

Д. Электродвижущая сила одной катушечной группы

Разбивая одну катушку на группы и располагая их в соседних пазах, мы тем самым сдвигаем стороны катушек в магнитном поле полюсов.

Предположим, что магнитная индукция распределяется синусоидально и что катушки имеют диаметральный шаг.

Предположим, что стороны одной катушки находятся в точках A и B (рис. 57) и попадают в рассматриваемый момент времени под максимальную индукцию B_{max}.

Обозначим число эффективных витков в катушке через w, очевидно, что и число эффективных проводников в каждой стороне также будет равно w. Тогда э. д. с. катушки будет равна

$$E_{max} = B_{max} wlv \cdot 10^{-8} + B'_{max} wlv \cdot 10^{-8} \text{ вольт,} \tag{43}$$

где l — длина активной части стороны в сантиметрах,

v — скорость в метрах в секунду.

Заменяя эту катушку катушечной группой из четырех катушек, мы должны намотать в каждой катушке по $\frac{w}{4}$ витков. Тогда э. д. с. первой катушки будет равна:

$$e_1 = B_1 \frac{w}{4} lv \cdot 10^{-8} + B'_1 \frac{w}{4} lv \cdot 10^{-8} = (B_1 + B'_1) \frac{w}{4} lv \cdot 10^{-8} \text{ вольт.}$$

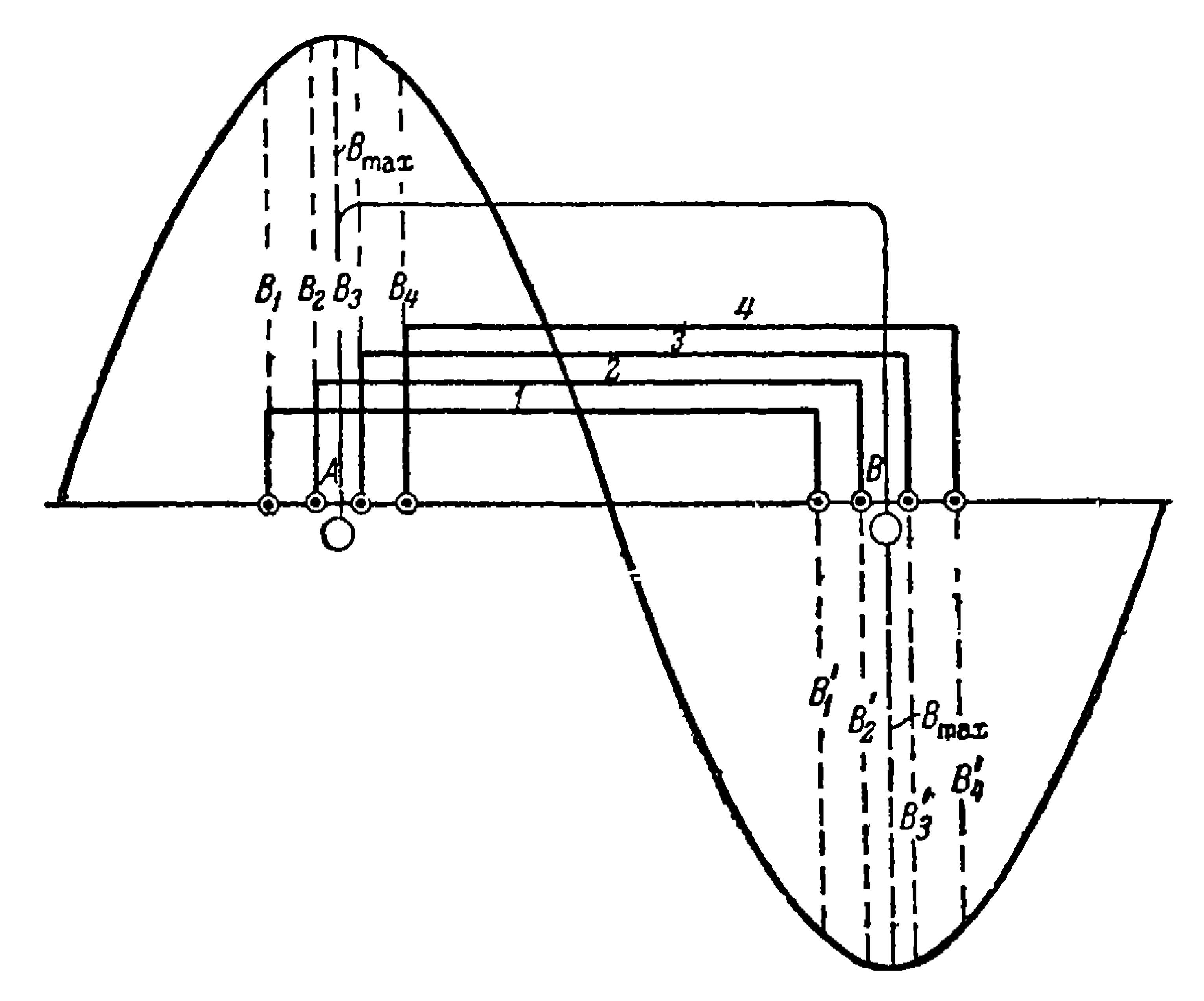


Рис. 57. Э. д. с. одной катушечной группы при синусоидальном поле.

Э. д. с. второй катушки будет равна:

$$e_2 = (B_2 + B'_2) \frac{w}{4} lv \cdot 10^{-8} \text{ вольт.}$$

Э. д. с. третьей катушки будет равна:

$$e_3 = (B_3 + B'_3) \frac{w}{4} lv \cdot 10^{-8} \text{ вольт}$$

и э. д. с. четвертой катушки будет равна:

$$e_4 = (B_4 + B'_4) \frac{w}{4} lv \cdot 10^{-8} \text{ вольт.}$$

Э. д. с. катушечной группы очевидно будет равна сумме э. д. с. всех четырех катушек:

$$e_{\text{кат. группы}} = e_1 + e_2 + e_3 + e_4 =$$

$$= (B_1 + B_1' + B_2 + B_2' + B_3 + B_3' + B_4 + B_4') \frac{w}{4} lv \cdot 10^{-8} \text{ вольт}$$

или

$$e_{\text{кат. группы}} = (B_1 + B_2 + B_3 + B_4) \frac{w}{4} lv \cdot 10^{-8} +$$

$$+ (B_1' + B_2' + B_3' + B_4') \frac{w}{4} lv \cdot 10^{-8} \text{ вольт},$$

в то время как для э. д. с. одной катушки мы получили выражение:

$$E_{max} = B_{max} wlv \cdot 10^{-8} + B_{max}' wlv \cdot 10^{-8} \text{ вольт}.$$

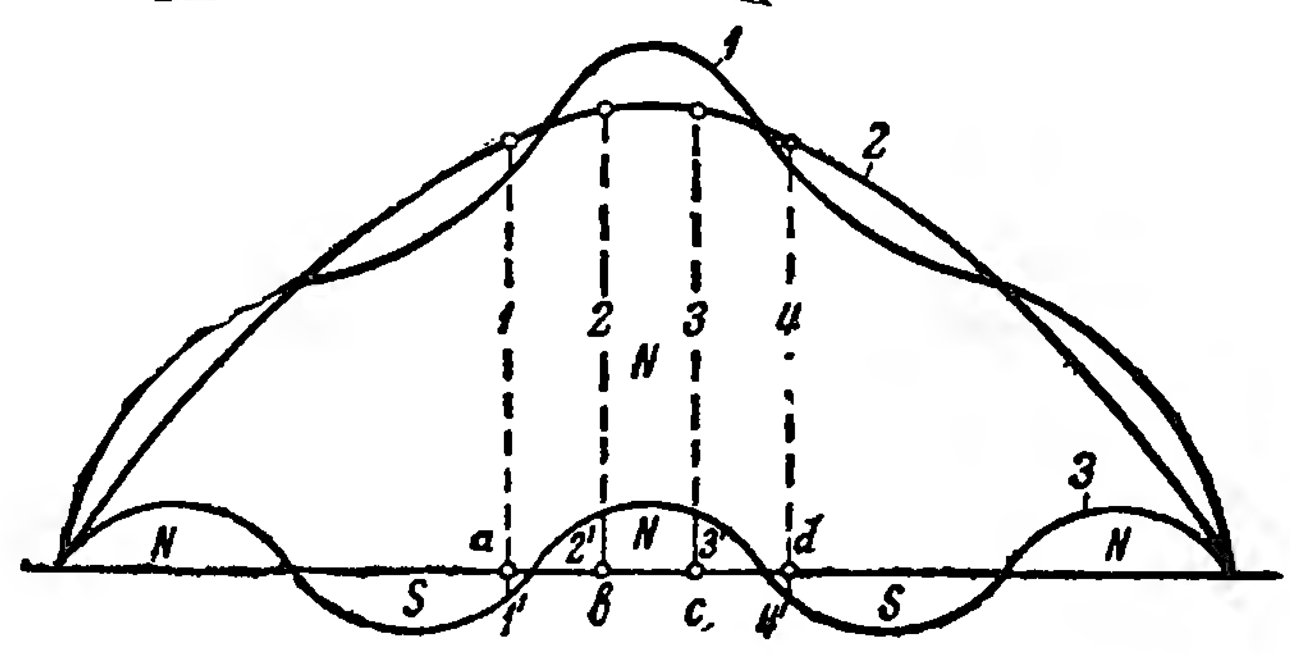


Рис. 58. Э. д. с. одной катушечной группы при несинусоидальном поле.

Сопоставляя ту и другую э. д. с., найдем, что э. д. с. катушечной группы будет меньше э. д. с. одной катушки с тем же числом витков. В самом деле

$$\frac{B_1 + B_2 + B_3 + B_4}{4} \text{ меньше } B_{max}$$

и

$$\frac{B_1' + B_2' + B_3' + B_4'}{4} \text{ меньше } B_{max}',$$

так как каждая в отдельности магнитная индукция для сторон катушек катушечной группы будет меньше B_{max}.

Отношение

$$\frac{\text{э. д. с. катушечной группы}}{\text{э. д. с. одной катушки с тем же числом витков}}$$

называется **обмоточным коэфициентом распределения**. Этот коэфициент всегда меньше единицы.

Рассмотрим теперь тот же случай при симметричном, но не синусоидальном распределении магнитной индукции.

Предполагая диаметральный шаг катушек, мы можем ограничиться рассмотрением индуктирования э. д. с. в сторонах, находящихся только под одним полюсом, так как под соседним полюсом другие стороны катушек попадают под те же по величине магнитные индукции.

Предположим, что магнитная индукция действительного магнитного потока распределяется по кривой *1* рис. 58, а синусоидального потока—по кривой *2*. Вычитая из кривой *1* кривую *2*, получаем кривую *3* распределения магнитного потока, искажающего синусоидальное распределение его.

Из этого рисунка видно, что в то время как э. д. с. одной катушки будет изменяться во времени по кривой *1*, э. д. с. катушечной группы будет изменяться во времени по кривой, более близкой к синусоиде.

Действительно, стороны катушек *a*, *b*, *c* и *d* попадают под магнитные индукции *a* — 1′, *b* — 2′, *c* — 3′ и *d* — 4′ магнитного потока (кривая *3*), причем индукции *a* — 1′ и *d* — 4′ направлены противоположно индукциям *b* — 2′ и *c* — 3′. По этой причине э. д. с. сторон *a* и *d* будут направлены навстречу э. д. с. сторон *b* и *c*, и суммарная э. д. с. всех сторон катушечной группы будет, очевидно, меньше суммы э. д. с. этих сторон при одинаковом направлении индукции. Но то же самое мы получили и при синусоидальном распределении магнитной индукции (рис. 57). Отличие здесь заключается в том, что магнитный поток, изображающийся кривой *3*, имеет меньший полюсный шаг и поэтому стороны *a*, *b*, *c* и *d* могут оказаться под различными полюсами, как это показано на рис. 58. Э. д. с. от магнитных полей с малым полюсным шагом будет сильно ослаблена.

Таким образом увеличение числа катушек в катушечной группе делает э. д. с. более синусоидальной и является одним из способов улучшения кривой напряжения машины.

Е. Соединение катушечных групп

Выше мы нашли, что однослойная обмотка статора имеет *p* катушечных групп в каждой фазе (*p* — число пар полюсов машины) и что катушки в катушечной группе соединяются последовательно.

Катушечные группы в каждой фазе могут быть соединены между собой различно, в зависимости от мощности и напряжения машины.

На рис. 59 изображены катушечные группы восьмиполюсной машины. Каждая катушечная группа состоит из трех последовательно соединенных катушек.

Так как все катушечные группы каждой фазы располагаются на расстоянии двух полюсных делений, то все левые стороны катушек попадают под одноименные полюсы, например северные N, а все правые — под южные S. При диаметральном шаге катушек одноименные стороны попадают, кроме того, под одинаковые магнитные индукции. Задаваясь каким-нибудь направлением э. д. с. в первой катушечной группе, мы получим такое же направление э. д. с. и в других катушечных группах. Так как при $2p$ полюсах машины число катушечных групп каждой фазы равно p, то в нашем случае при $2p = 8$ число катушечных групп будет равно 4.

Если по расчету требуется последовательное соединение всех четырех катушечных групп, то, обозначая левый конец катушечной группы через *H* (начало), а правый — через *K* (конец) (для всех катушечных групп направление э. д. с. в началах и соответственно в концах одинаково), получим, что для этого нужно (рис. 59, *a*) K_1 соединить с H_2,

K_2 соединить с H_3, K_3 соединить с H_4 и от H_1 и K_4 взять провода к зажимам.

Если требуется параллельное соединение всех катушечных групп, то для этого необходимо соединить между собой все начала и все концы и от этих соединений вывести провода к зажимам машины (рис. 59,*б*).

Если требуется смешанное соединение, т. е. часть катушечных групп соединяется последовательно и полученные таким образом ветви соединяются между собой параллельно, то в этом случае реко-

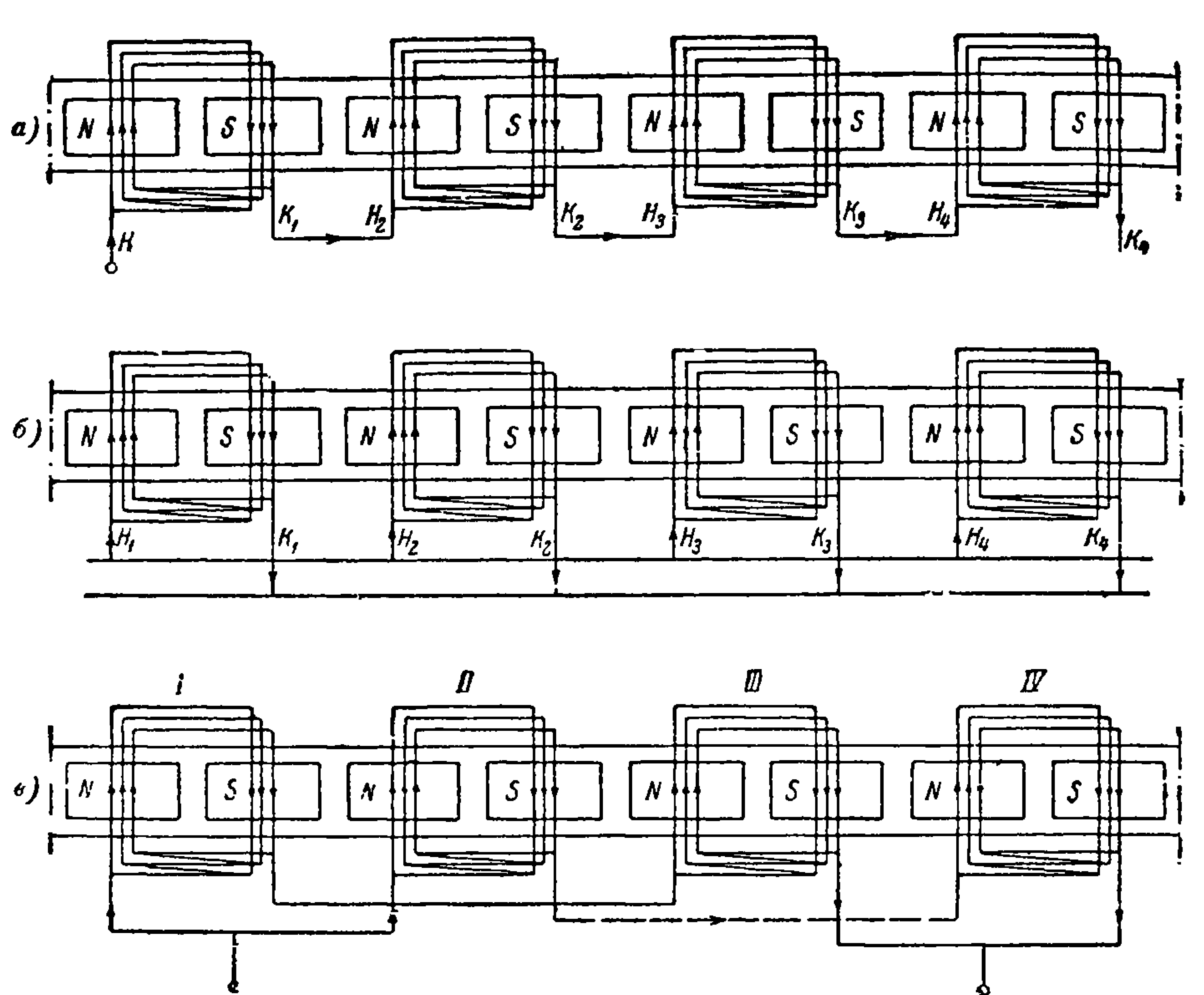


Рис. 59. Соединение катушечных групп.

мендуется поступать, как указано на рис. 59, *в*. Здесь *I* и *III* катушечные группы, а также *II* и *IV* соединяются последовательно, а затем уже ветвь, состоящая из катушечных групп *I* и *III*, соединяется параллельно с ветвью, состоящей из катушечных групп *II* и *IV*. Образовывать ветви из соседних катушечных групп (например из *I*, *II* и *III*, *IV*) обычно избегают, так как при нарушении, например, воздушного зазора от срабатывания вкладыша подшипника вверху машины зазор будет больше, а внизу меньше, вследствие этого величина магнитного потока отдельных полюсов может оказаться различной и непостоянной во времени. Когда полюс попадет под большой зазор, магнитный поток будет меньше, чем тогда, когда полюс попадет под меньший зазор. Поэтому, если мы одну ветвь образуем из кату-

шечных групп, лежащих вверху, а другую — из лежащих внизу, то э. д. с. ветвей будет неодинаковой, и внутри обмотки под влиянием разности напряжения ветвей начнут циркулировать уравнительные токи, которые, не принимая участия в полезной работе, будут нагревать обмотку и уменьшать коэфициент полезного действия машины. По этой причине следует по возможности избегать параллельного соединения всех катушек.

Ж. Разбивка катушечных групп по фазам

Выше мы рассмотрели одну фазу обмотки. Для этого соединили между собой все катушки, отстоящие друг от друга на двойной полюсный шаг. Очевидно, что то же самое мы должны проделать и для двух

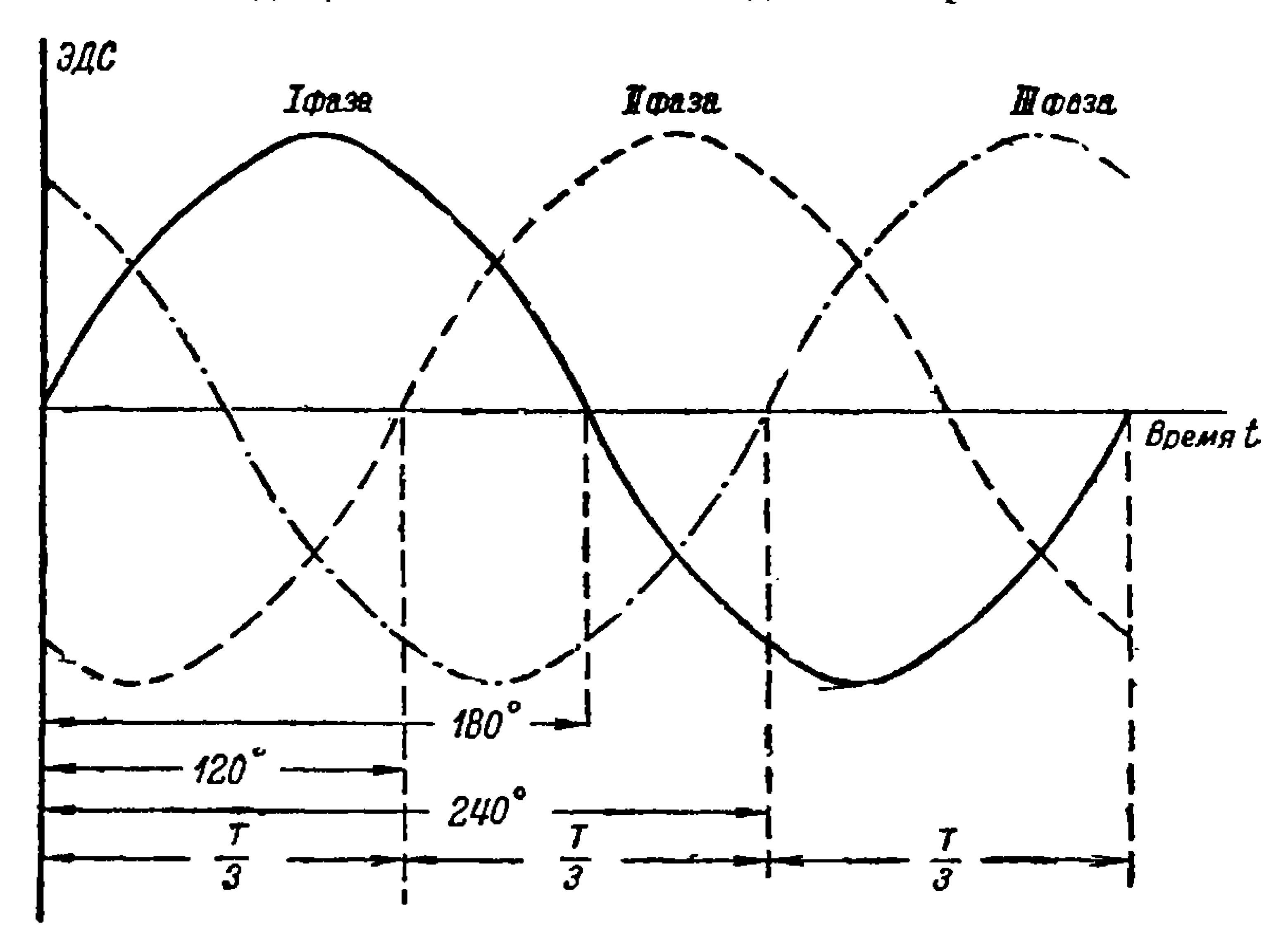


Рис. 60. Сдвиг фазных э. д. с.

других фаз, т. е. намотать такое же число катушек, с тем же числом витков, образовать столько же катушечных групп и так же соединить катушечные группы между собой. В этом случае э. д. с. каждой фазы будет одной и той же величины.

Но к трехфазной обмотке, кроме равенства э. д. с., предъявляется еще одно требование: э. д. с. фаз должны быть сдвинуты во времени на 120 и 240 эл. градусов. Э. д. с. второй фазы должна быть сдвинута на 120 эл. градусов, и э. д. с. третьей фазы должна быть сдвинута на 240 эл. градусов по отношению к э. д. с. первой фазы (рис. 60).

Так как одному периоду соответствует 360 эл. градусов, то 120 эл. градусов соответствует $\frac{1}{3}T$, а 240 эл. градусов — $\frac{2}{3}T$.

С другой стороны, за время одного периода ротор перемещается на двойное полюсное деление 2τ.

Поэтому, если нам требуется, чтобы э. д. с. второй фазы получала те же значения, что и э. д. с. первой фазы, спустя $\frac{1}{3}T$, а э. д. с. третьей фазы спустя $\frac{2}{3}T$, то очевидно, что катушечные группы второй и третьей фазы мы должны расположить в статоре таким образом, чтобы они попадали под те же значения магнитной индукции спустя $\frac{1}{3}T$ и $\frac{2}{3}T$. Для этого катушечные группы второй фазы мы должны сместить на $\frac{1}{3}2\tau=\frac{2}{3}\tau$ в направлении вращения ротора, а катушечные группы третьей фазы — соответственно на $\frac{2}{3}2\tau=\frac{4}{3}\tau$ от катушечных групп первой фазы. Так как в действительности любая из трех фаз обмотки может быть первой, второй или третьей, то требование относительно сдвига катушечных групп второй фазы на 120, а третьей на 240 эл. градусов по направлению вращения ротора от катушечных групп первой фазы является условным. Важно, чтобы при перемещении по обмотке в одном каком-нибудь направлении, например по направлению вращения часовой стрелки (рис. 61), следующие одна за другой фазы были расположены через $\frac{2}{3}\tau$.

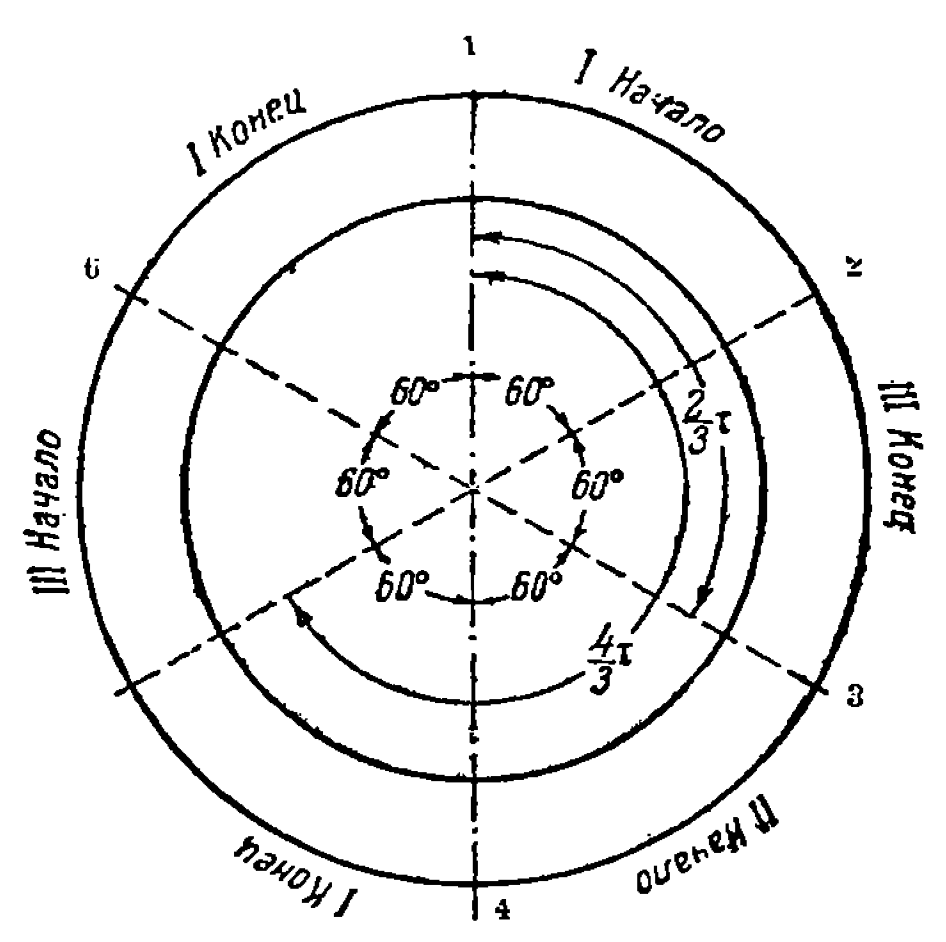


Рис. 61. Расположение фазных зон двухполюсной машины.

Выше мы выяснили, что на каждую пару полюсов и фазу приходится по одной катушечной группе. Исходя из этого, мы получим, что каждую пару полюсов мы должны разбить на шесть равных участков, на которых будут размещены стороны катушечных групп. Так как каждой паре полюсов соответствует 360 эл. градусов, то каждому такому участку будет соответствовать 60 эл. градусов. Эти участки, как мы выше упомянули, называют **фазными зонами**, указывая тем самым, что на каждом из этих участков стороны катушек принадлежат только одной фазе. Пусть участок *1—2* на рис. 61 принадлежит первой фазе, и катушки имеют диаметральный шаг. Тогда, перемещаясь по обмотке на расстояние полюсного шага τ, от точки *1* дойдем до участка *4—5*, на котором будут лежать вторые стороны катушек первой фазы.

Перемещаясь по обмотке на $\frac{2}{3}\tau$, дойдем до участка *3—4*, на котором будут лежать первые стороны катушечной группы второй фазы. Вторые стороны этой катушечной группы будут находиться на участке *6—1*, который сдвинут от участка *3—4* на полюсный шаг τ.

Перемещаясь по обмотке на $\frac{4}{3}\tau$, дойдем до участка *5—6*, на котором будут лежать первые стороны катушечной группы третьей фазы. Вторые стороны этой катушки будут находиться на участке *2—3* и будут сдвинуты от участка *5—6* на τ.

Таким образом первые стороны или начала катушечных групп лежат

для фазы	*I*	на участке	*1—2*
»	»	*II*	»	*3—4*
»	»	*III*	»	*5—6*

и вторые стороны или концы катушечных групп лежат

для фазы	*I*	на участке	*4—5*
»	»	*II*	»	*6—1*
»	»	*III*	»	*2—3*

Сдвиг как между началами, так и концами катушечных групп разных фаз равен $\frac{2}{3}\tau$ и $\frac{4}{3}\tau$.

В порядке последовательности обмотка разбивается на фазные зоны следующих фаз: начала фазы *I*, концы фазы *III*, начала фазы *II*, концы фазы *I*, начала фазы *III* и концы фазы *II*.

Такая последовательность фазных зон справедлива для всех трехфазных обмоток. На рис. 62 изображены фазные зоны четырехполюсного статора.

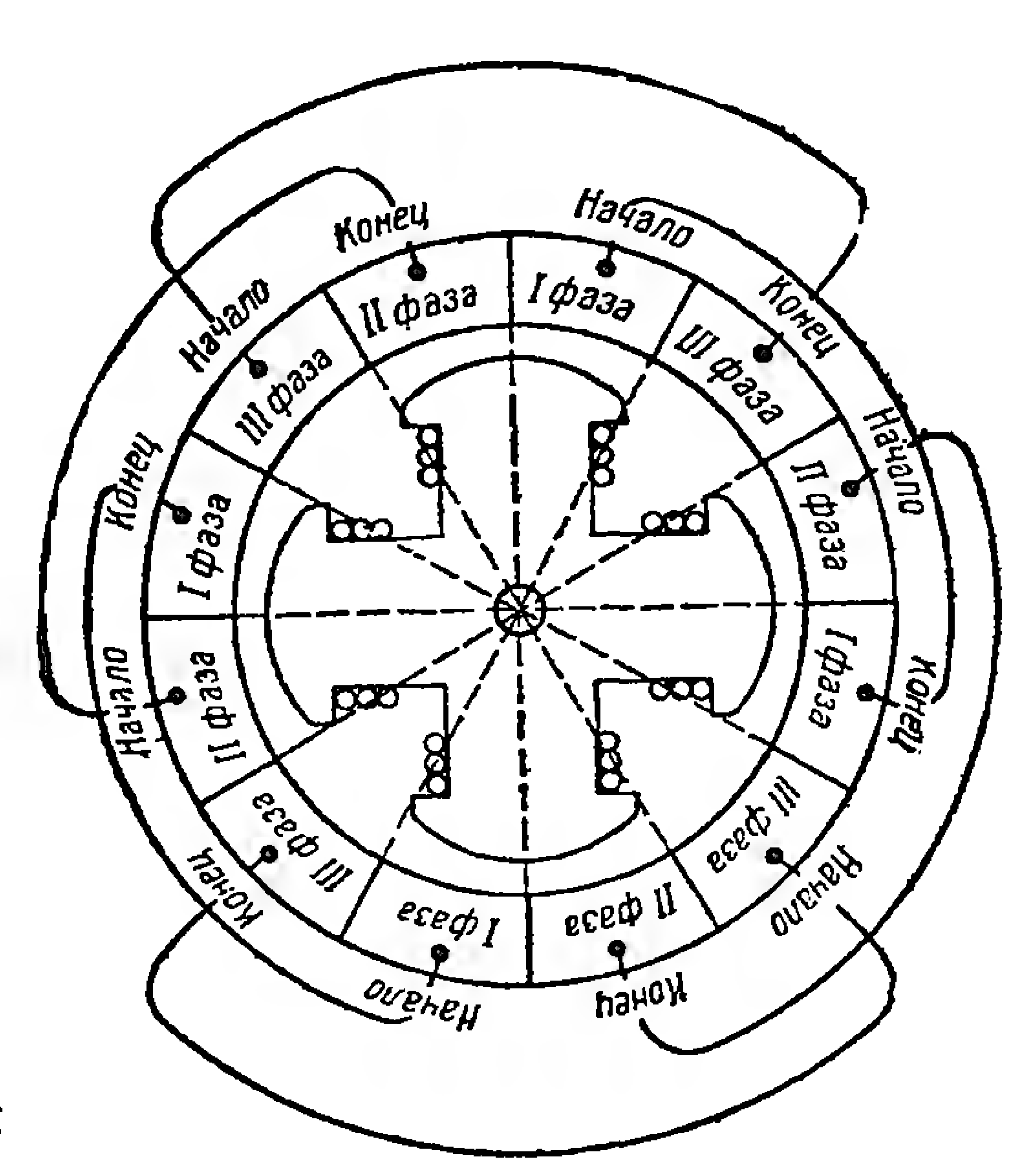


Рис. 62. Расположение фазных зон четырехполюсной машины.

На рис. 63 изображена принципиальная схема трехфазной обмотки восьмиполюсной машины. На этой схеме каждая фаза имеет $p = 4$ катушечные группы, состоящие каждая из двух катушек. Соединение катушечных групп предположено последовательным.

Начало и конец каждой фазы обычно обозначаются следующим образом:

фаза	*I*:	начало	— *U*,	конец	*X*
»	*II*:	»	— *V*,	»	*Y*
»	*III*:	»	— *W*,	»	*Z*

3. Сопряжение фаз

Существуют два способа соединения фаз между собой: 1) звездой и 2) треугольником.

При соединении звездой соединяются вместе концы X, Y, Z, а начала U, V, W выводятся к зажимам машины (рис. 64).

При соединении треугольником конец первой фазы X соединяется с началом второй фазы V, конец второй фазы Y соединяется с началом

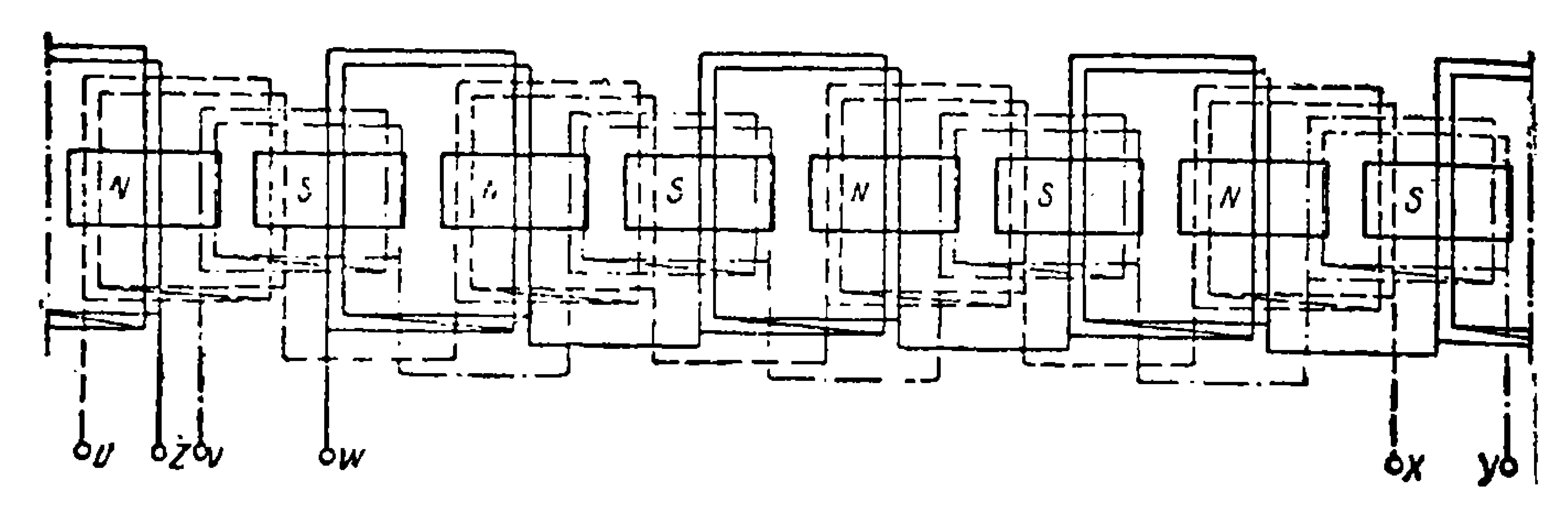


Рис. 63. Принципиальная схема трехфазной обмотки восьмиполюсной машины.

третьей фазы W, и конец третьей фазы Z соединяется с началом первой фазы U; от соединений ведут провода к зажимам машины (рис. 65).

Иногда все шесть концов выводят к коробке зажимов и соответствующее соединение зажимов производят перемычками.

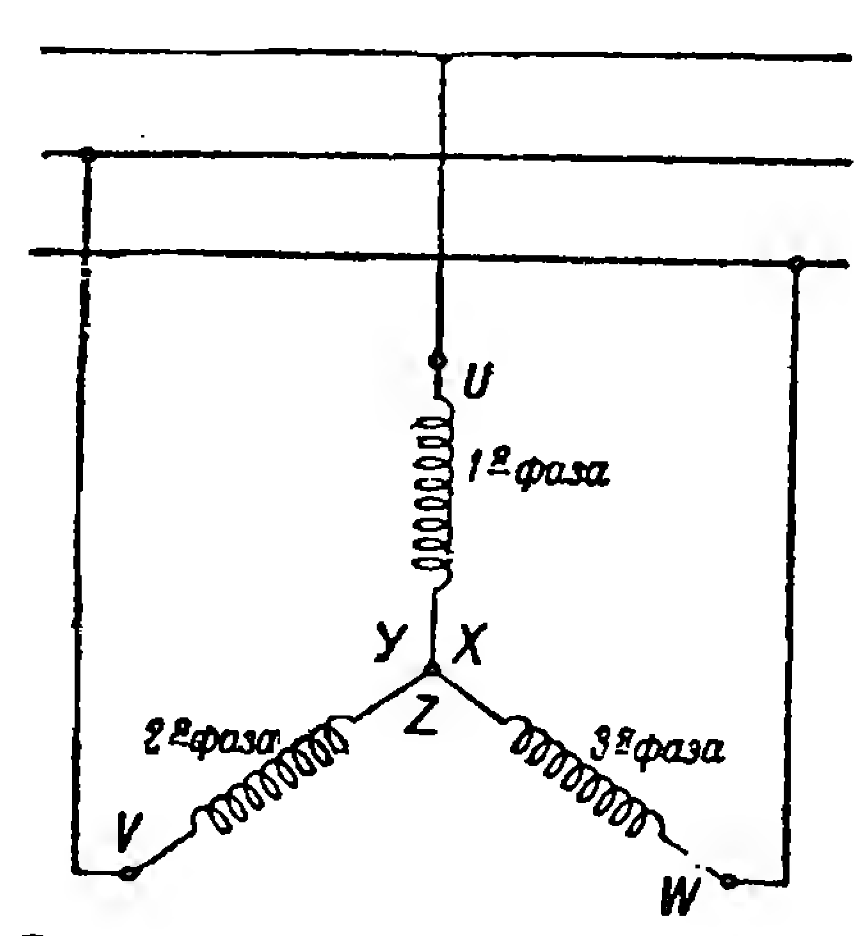


Рис. 64. Принципиальная схема обмотки, сопряженной в звезду.

Часто соединение звездой обозначают значком ⅄ и соединение треугольникам — значком △.

Из рис. 64 и 65 легко усмотреть, что при соединении звездой линейный ток равен фазному току, а при соединении треугольником линейное напряжение равно фазному.

Но при соединении звездой линейное напряжение в $\sqrt{3}$ раза больше фазного, а при соединении треугольником линейный ток в $\sqrt{3}$ больше фазного тока.

Таким образом:

$$I_{ф⅄} = I_л$$

$$U_{ф⅄} = U_л/\sqrt{3}$$

$$I_{ф\triangle} = I_л/\sqrt{3}$$

$$U_{ф\triangle} = U_л.$$

Здесь: $I_л$ — линейный ток, $U_л$ — линейное напряжение, $I_{ф⅄}$ — фазный ток при звезде, $I_{ф\triangle}$ — фазный ток при треугольнике, $U_{ф⅄}$ — фазное напряжение при звезде и $U_{ф\triangle}$ — фазное напряжение при треугольнике.

При выборе того или иного рода соединения предпочтение следует отдавать соединению звездой, так как при этом соединении напряжение между проводами сети получается более близким к синусоидальному. Сопрягая фазы звездой, мы тем самым уничтожаем влияние на напряжение на зажимах машины магнитного потока, изображенного на рис. 50 кривой *III*.

На рис. 66, *а* изображена основная синусоида *1* и синусоида *2* с шагом $\tau/3$.

На рис. 66, *б* изображено в развернутом виде чередование фазных зон.

На рис. 66, *в* изображена принципиальная схема обмотки при условии, что катушечная группа имеет одну катушку.

На рис. 66, *г* и *д* показано сопряжение обмотки звездой и треугольником.

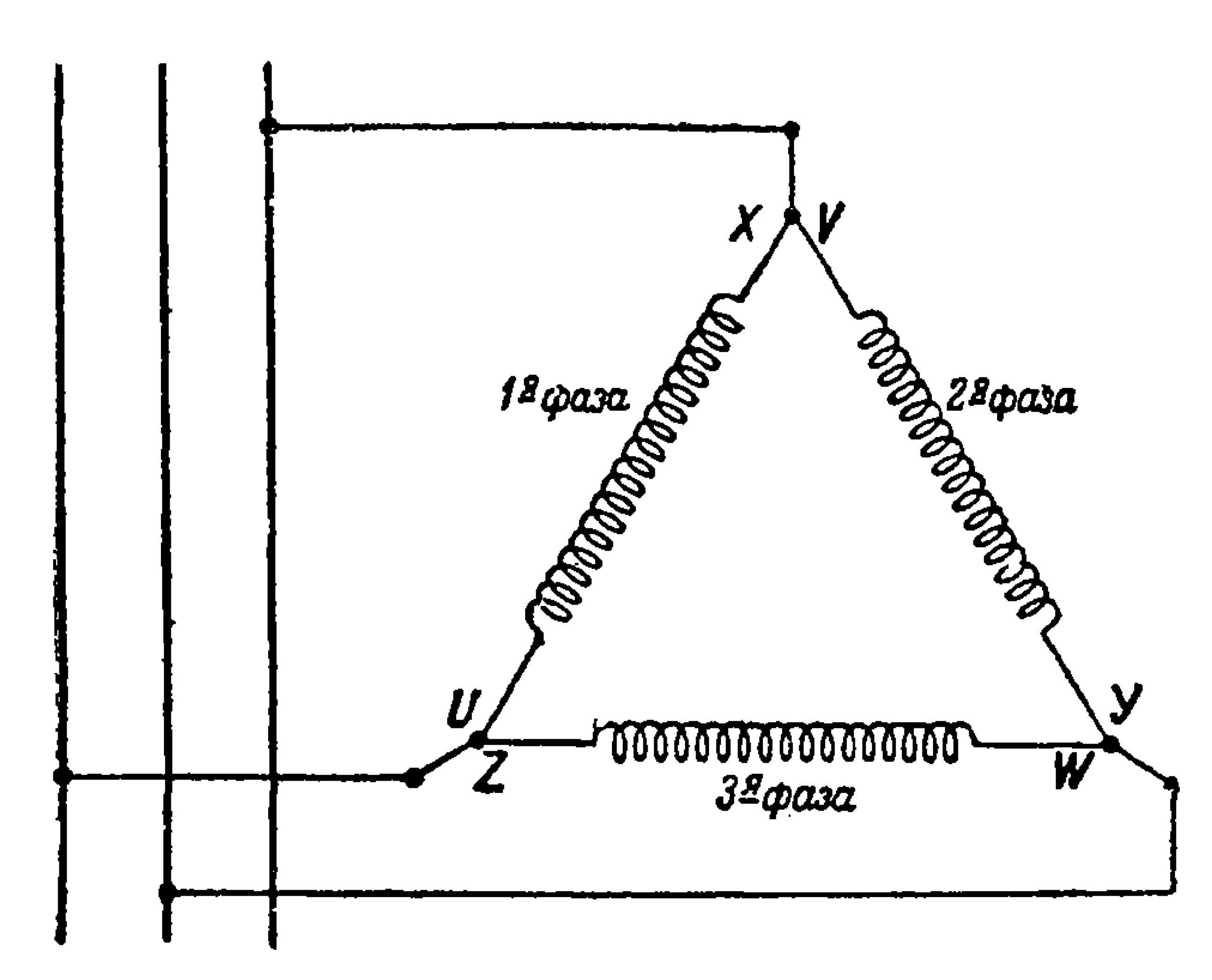


Рис. 65. Принципиальная схема обмотки, сопряженной в треугольник.

Из рис. 66 *а* и 66 *в* видно, что начала катушечных групп всех фаз попадают под северные полюса N, а концы всех фаз — под южные полюса S кривой *2*. Кроме того, величина магнитной индукции, под которую попадают стороны катушек, одинакова. Вполне очевидно, что это приводит к тому, что направление э. д. с. в каждой катушечной группе также будет одинаково. На рис. 66 *в*, *г* и *д* оно показано идущим от начала к концу катушечной группы. Таким образом в каждой фазе магнитный поток с шагом $\tau/3$ индуктирует э. д. с. одной и той же величины и направления. Иначе говоря, — фазные э. д. с. от магнитного потока с шагом $\tau/3$ совпадают по фазе, причем это не зависит от способа сопряжения.

Так как при сопряжении треугольником фазное и линейное напряжения одни и те же, то очевидно магнитный поток с шагом $\tau/3$ (рис. 66, *д*) будет влиять на линейное напряжение.

Другое получаем при сопряжении звездой (рис. 66, *г*). Хотя и в этом случае в каждой фазе будет индуктироваться э. д. с. магнитным потоком с шагом $\tau/3$, но линейное напряжение будет свободно от этой э. д. с. Это объясняется тем, что потенциал точек U, V, W,

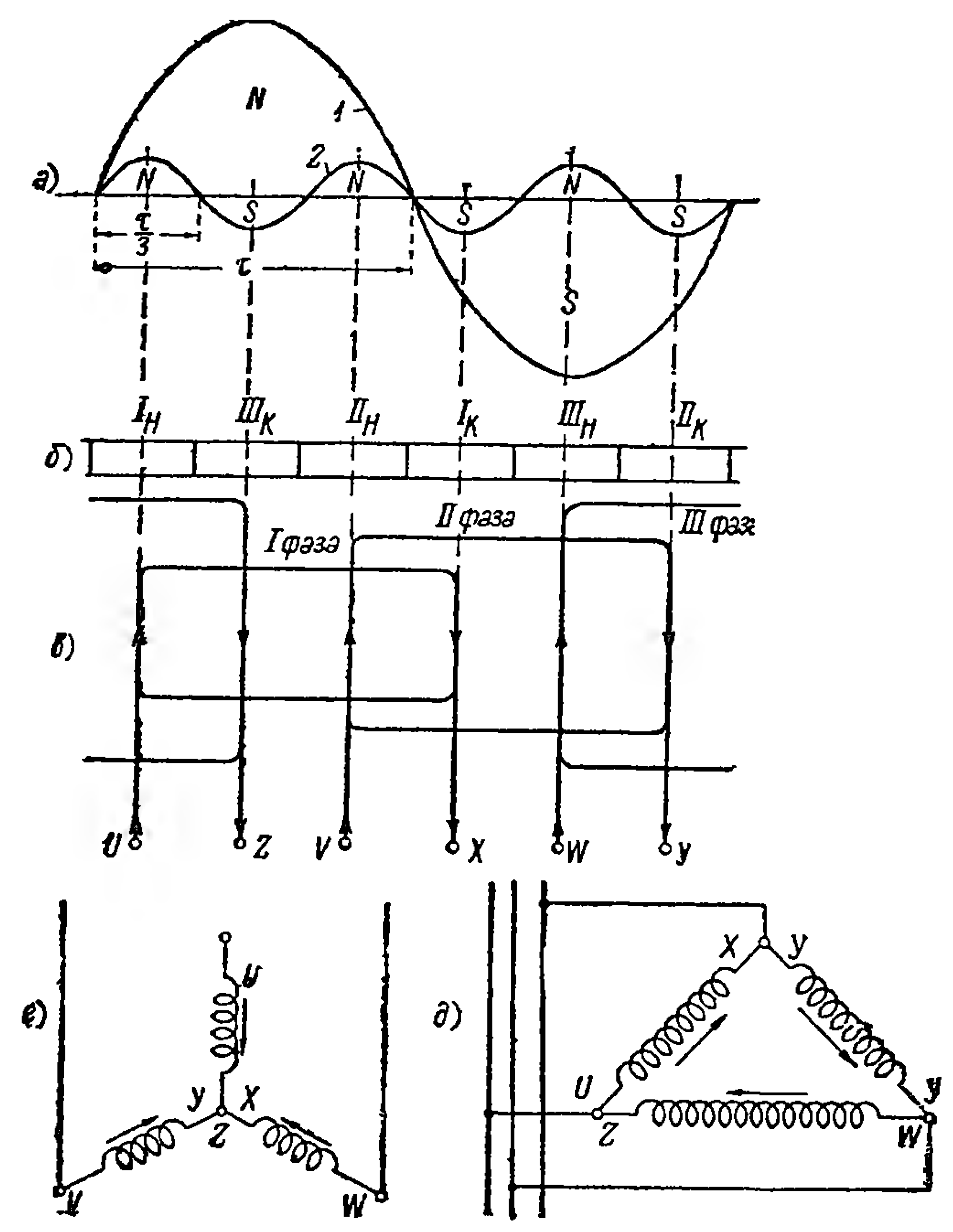


Рис. 66. Сопряжение в звезду и треугольник.

вызываемый потоком с шагом $\tau/3$, будет одинаковым, а поэтому кривая напряжения между зажимами $U — V$, $U — W$, $V — W$ будет свободна от э. д. с., вызванных этим потоком.

3. ТРЕХФАЗНЫЕ ОДНОСЛОЙНЫЕ ОБМОТКИ СТАТОРОВ АСИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

Из теории асинхронных двигателей известно, что трехфазная обмотка статора при питании ее трехфазным током образует вращающееся магнитное поле.

Как уже отмечалось выше, обмотку статора нужно выполнить таким образом, чтобы вращающееся магнитное поле было по возможности синусоидальным. Поэтому, прежде чем приступить непосред-

ственно к рассмотрению обмоток, остановимся на вопросе получения синусоидального вращающегося магнитного поля.

Как известно, вращающееся магнитное поле получается вследствие одновременного действия трех пульсирующих магнитных полей. Магнитные поля должны пульсировать во времени со сдвигом по фазе на 120 и 240 эл. градусов и на столько же градусов должны быть сдвинуты в пространстве.

Хотя вопросы образования пульсирующих и вращающихся магнитных полей относятся к теории машин и предполагаются известными, тем не менее мы их рассмотрим и здесь.

А. Пульсирующее магнитное поле

Простейшим примером пульсирующего магнитного поля является магнитное поле катушки, питаемой переменным током.

Из общего курса электротехники известно, что вокруг проводника с током образуются магнитные силовые линии, направление которых определяется правилом штопора. На рис 67, *а* показано направление силовых линий при токе, направленном от нас, а на рис. 67, *б* — при токе, направленном на нас.

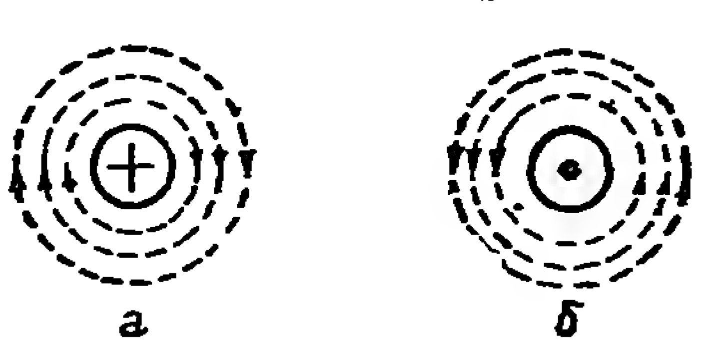


Рис. 67. Магнитное поле проводника.

Если взять виток или катушку, то вокруг сторон будут образовываться магнитные силовые линии, которые, согласно правилу штопора, внутри катушки будут направлены в одном направлении, а снаружи—в противоположном.

Предположим, что у нас имеется статор с двумя пазами (рис. 68, *а*). Заложим в эти пазы катушку и пропустим через нее ток в направлении, указанном на рисунке. Применяя правило штопора, получим, что внутри катушки силовые линии проходят справа налево. Разрежем статор и ротор по линии *аа* и выпрямим их (рис. 68, *б*). Получим, конечно, то же самое, — внутри катушки силовые линии идут в одном направлении, снаружи — в другом. Эти рисунки показывают, что внутри катушки силовые линии входят в зазор из статора, а снаружи из ротора. Таким образом направление силовых линий в зазоре как бы меняется. Поэтому, если силовым линиям, входящим в зазор из статора, дать одно направление, то силовым линиям, входящим в зазор из ротора, нужно будет приписать уже другое направление. Это и проделано на рис. 68, *в* (сплошная кривая). Здесь силовые линии, входящие в зазор из статора, отложены вниз от оси, а силовые линии, входящие в зазор из ротора, вверх от оси.

Из рис. 68, *а*, *б* и *в* видно, что катушка образовала два полюса. Силовые линии магнитного потока одного полюса проходят внутри катушки, а другого — снаружи ее. Если пазы расположены в статоре по диаметру, т. е. если катушка имеет диаметральный шаг, то ширина полюсов будет одинаковой.

Если предположить, что магнитным сопротивлением железа можно пренебречь, то все силовые линии будут испытывать одно и то же магнитное сопротивление. С другой стороны, все силовые линии со-

зданы одной и той же катушкой с током и все они охватывают одни и те же ампер-провода. Другими словами, все силовые линии находятся под одним и тем же магнитным напряжением. Учитывая, что все они встречают одно и то же магнитное сопротивление, найдем, что все силовые линии будут одинаковы, т. е. магнитная индукция в воздушном зазоре будет одинаковой. Откладывая магнитную индукцию от горизонтальной оси, получим прямоугольную кривую поля рис. 68, *в*. Если учесть магнитное сопротивление железа, то магнитная индукция будет неодинаковой. Чем ближе силовая линия к оси катушки, тем длиннее ее путь в железе

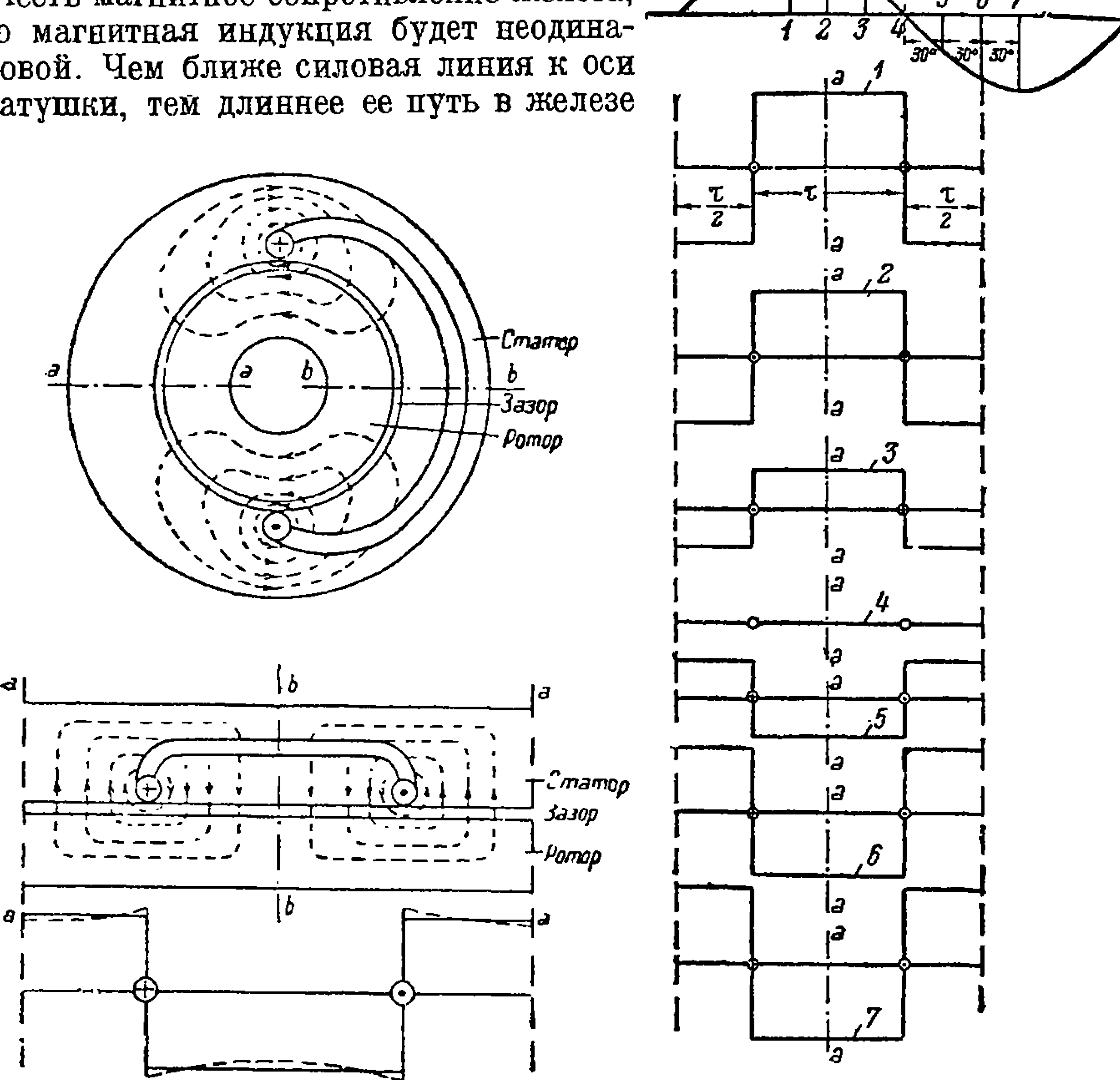


Рис. 68. Кривая поля катушки.

Рис. 69. Пульсирующее магнитное поле.

и тем больше магнитное сопротивление. Поэтому магнитная индукция в центре катушки меньше, чем по краям. Кривая поля в этом случае изобразится пунктирной кривой рис. 68, *в*.

При изменении силы тока в катушке магнитное поле катушки будет изменяться. Чем меньше сила тока, тем меньше будет магнитный поток полюса.

Предположим, что в момент *1*, что соответствует ординате *1* кривой тока (рис. 69), в катушке ток имеет максимальное значение и в левом

проводнике направлен на нас, а в правом от нас. Кривая поля катушки изобразится кривой *1*.

Через $\frac{1}{12}T$ ток в катушке уменьшится, оставаясь тем же по направлению (момент *2*). Пропорционально уменьшению тока уменьшится и магнитная индукция поля катушки (кривая *2*).

При дальнейшем уменьшении тока магнитное поле катушки изобразится кривой *3*.

В момент времени *4* ток, а поэтому и магнитное поле катушки сделаются равными нулю.

После этого момента времени сила тока начинает вновь возрастать, но в обратном направлении, что приводит к изменению направления силовых линий поля катушки (кривые *5*, *6*, *7*).

Таким образом за промежуток времени от момента *1* до момента *7*, т. е. за $\frac{1}{2}T$, ток изменил свое направление на обратное и достиг опять максимального значения. Магнитный поток, проходящий, например, внутри катушки, за это время также изменил направление и вновь достиг максимального значения.

Вполне очевидно, что если ток во времени изменяется по синусоиде, то и величина магнитного потока каждого полюса будет изменяться по синусоиде. Путем соответствующего подбора масштаба для тока и потока можно величину магнитного потока определять по синусоиде тока. В этом случае ордината синусоиды одновременно дает силу тока и величину магнитного потока. Таким образом одна катушка создает магнитное поле, которое изменяется в такт с изменением тока, или, как обычно говорят, изменяется синхронно с током. При изменении поля ось полюсов остается без изменения, т. е. ось катушки совпадает с осью одного из полюсов.

Магнитное поле, которое изменяет свою величину и направление, оставаясь неподвижным относительно обмотки, называется пульсирующим.

Таким образом катушка с диаметральным шагом при питании ее переменным током создает пульсирующее магнитное поле с двумя полюсами одинаковой ширины и с равномерно распределенной магнитной индукцией (в предположении отсутствия насыщения).

Б. Вращающееся магнитное поле

Поместим на статоре три совершенно одинаковых катушки. Расстояние между осями катушек возьмем также одинаковым. Так как на двойное полюсное деление 2τ приходится 360 эл. градусов, то между осями катушек возьмем по 120 эл. градусов (рис. 70). Приключим катушки к сети трехфазного тока. Тогда ток катушек будет сдвинут по фазе на 120 эл. градусов.

Разрежем статор и ротор по оси *OC* и развернем их (рис. 71, *а*).

Возьмем момент времени *1* (рис. 71, *б*), когда ток в катушке фазы *I* имеет максимальное значение и направлен на нас в левой стороне и от нас в правой стороне катушки. Тогда по синусоиде (рис. 71, *б*)

найдем, что ток в катушке фазы *II* в этот же момент времени *1* будет иметь противоположное направление и будет в два раза меньше по величине. В левой стороне катушки ток будет направлен от нас, а в правой — на нас. То же самое получим и для тока в катушке фазы *III*.

На рис. 71, *б* римскими цифрами обозначены мгновенные значения тока соответствующей фазы.

Построим прямоугольные кривые поля для каждой катушки (рис. 71, *в*). Складывая ординаты этих кривых, получим результирующую кривую поля (на рисунке показана жирной линией) в данный момент времени *1*.

Задаваясь двумя другими моментами времени и строя для них пульсирующие поля каждой катушки, получим результирующие кривые поля *2*, *3* (рис. 71, *г* и *д*).

Сопоставляя эти кривые между собой, найдем, что:

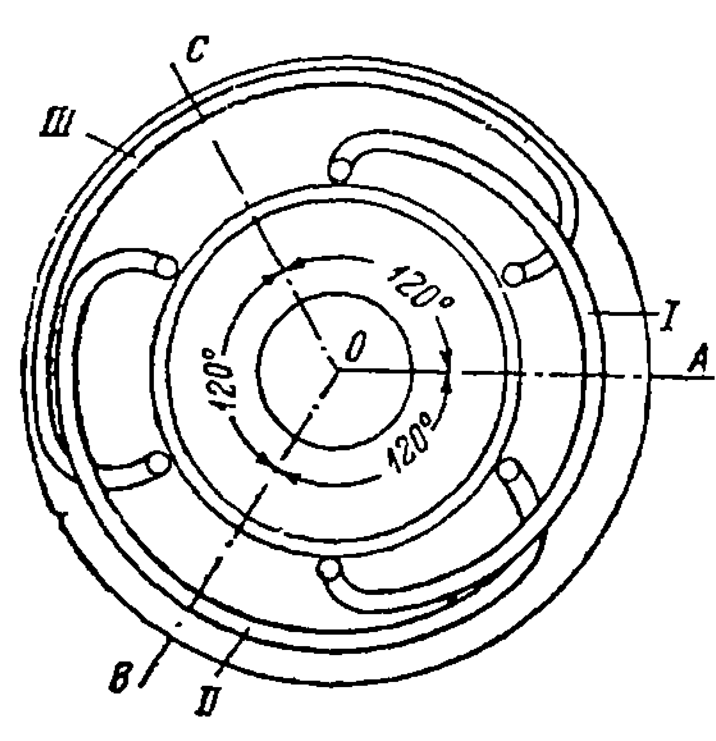


Рис. 70. Расположение катушек трех фаз.

1) кривая результирующего магнитного поля перемещается по обмотке, образуя вращающееся магнитное поле;

2) кривые результирующего поля изменяют свою форму.

Вполне очевидно, что полученное вращающееся магнитное поле не особенно желательно для асинхронного двигателя, так как его отнюдь нельзя считать синусоидальным.

Совсем другое получится, если мы предположим, что пульсирующее поле каждой катушки распределяется синусоидально (рис. 72). В этом случае мы получаем синусоидальное распределение вращающегося магнитного поля.

Рассмотрим метод построения кривой вращающегося поля. Дело в том, что при построении кривой поля (рис. 71) мы огрубили действительность. На рис. 71 и 72 мы складывали магнитные поля трех катушек, считая их реальными полями, действующими независимо друг от друга, хотя силовые линии этих полей замыкаются не только вокруг проводников своей катушки, но и вокруг проводников катушек других фаз. Указанное построение справедливо только в тех случаях, когда магнитные потоки катушек проходят только в воздухе. В этих случаях мы можем накладывать отдельные поля друг на друга и находить результирующее поле. Если же силовые линии проходят и по железу, то метод наложения полей делается непригодным. Магнитное сопротивление железа, как известно, зависит от магнитной индукции. Эта зависимость дается кривой намагничивания данного сорта железа. Поэтому, для того чтобы построить кривую поля одной катушки, нам нужно предварительно знать, какие же будут магнитные индукции результирующего магнитного поля в том или ином участке магнитной цепи. Исходя из этого, при построении поля, создаваемого несколькими катушками, поступают следующим образом.

Сначала строят кривую распределения магнитных напряжений, создаваемых всей обмоткой. Затем задаются индукцией в зазоре и по

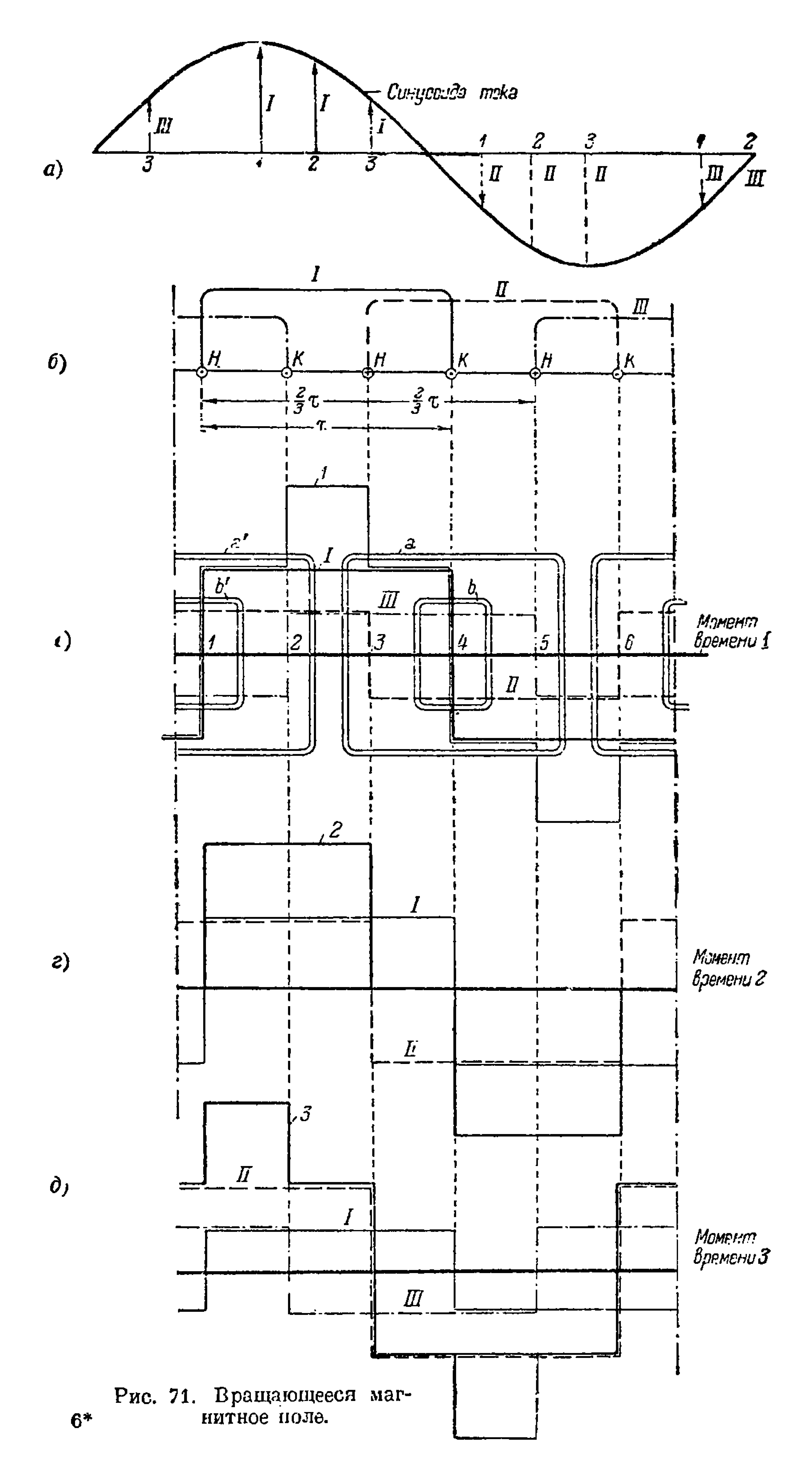


Рис. 71. Вращающееся магнитное поле.

ней определяют индукции в остальных участках магнитной цепи. Подсчитывая магнитные сопротивления всех участков цепи, находят кривую намагничивания машины. Зная магнитное напряжение и магнитное сопротивление, находят индукцию результирующего магнитного поля.

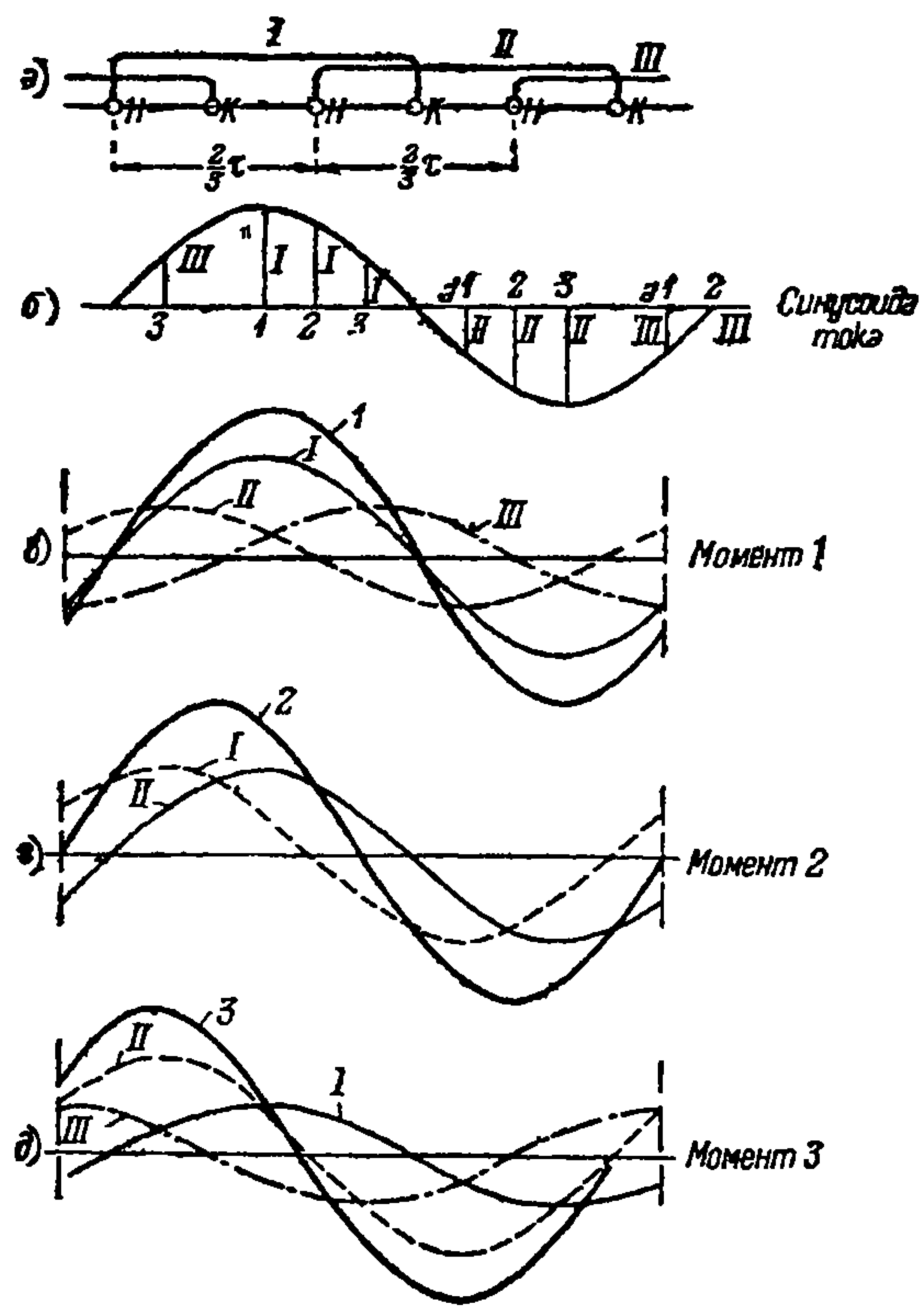


Рис. 72. Синусоидальное вращающееся магнитное поле.

Предположим, что магнитное напряжение распределяется по синусоиде *A* (рис. 73), а кривая намагничивания изображается кривой *B*.

Пусть нам требуется определить магнитную индукцию в точке *а*. Из кривой *A* находим, что в точке *а* обмотка создает магнитное напряжение, равное *аб*. По кривой намагничивания *B* напряжению *Oc* = *аб* отвечает индукция *O1*. Откладывая отрезок *O1* от точки *а*, находим точку *в* (*ав* = *O1*) кривой поля. Задаваясь другими точками кривой *A* и поступая таким же образом, получим практически достаточно точную кривую поля *C*.

Таким образом кривая поля зависит в первую очередь от кривой магнитного напряжения, или, как ее обычно называют, от кривой магнитодвижущих сил.

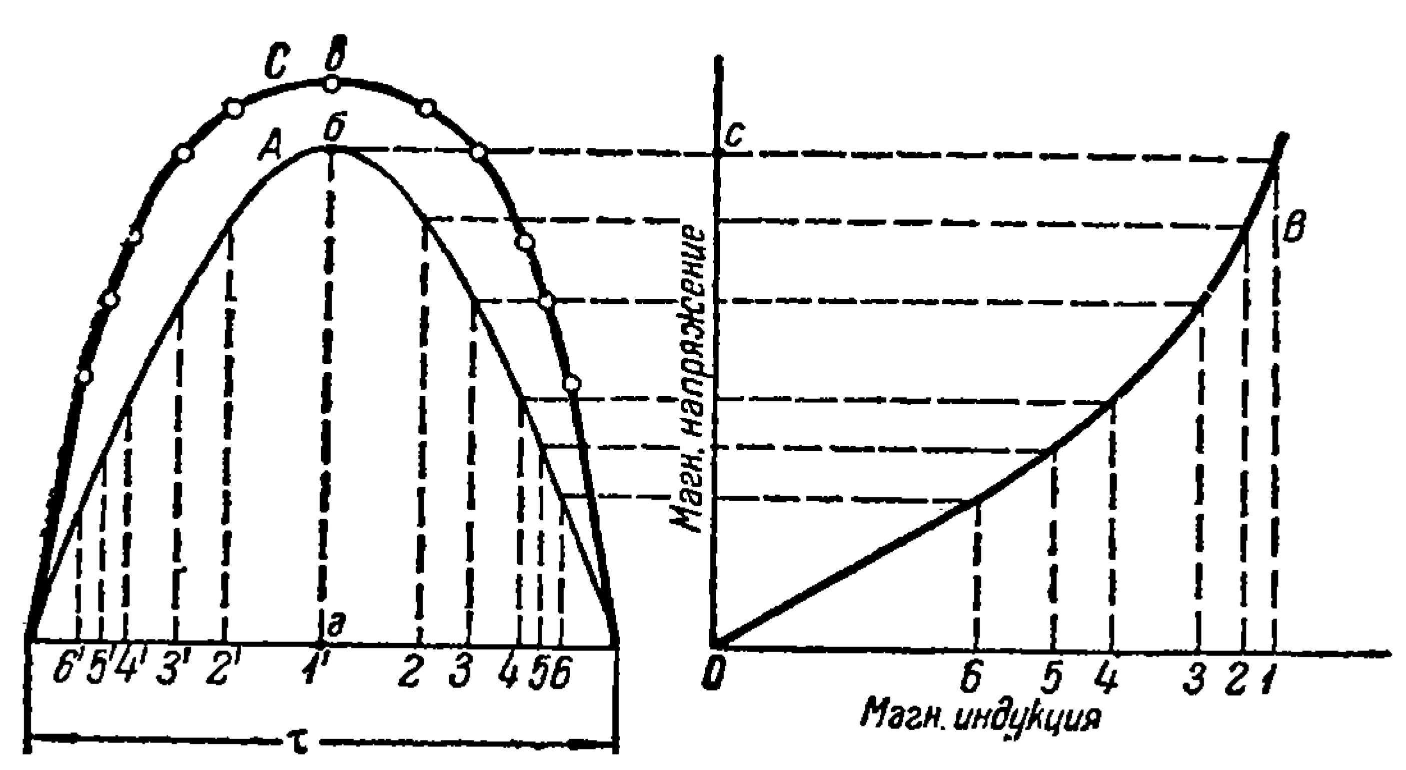


Рис. 73. Построение кривой поля.

В. Кривая м. д. с. обмотки с диаметральным шагом катушек

Из рис. 67 видно, что все силовые линии, замыкающиеся вокруг проводников катушки, находятся под одним и тем же магнитным напряжением, так как внутри каждой силовой линии находится одно и то же число проводников, по которым течет один и тот же ток..

Другими словами, внутри каждой силовой линии находится одно и то же число ампер-проводников, или магнитодвижущая сила (м. д. с.) остается постоянной.

Обозначим через s_n число эффективных проводников в стороне катушки и через I — эффективное значение силы тока, протекающего по проводникам катушки.

Тогда максимальное значение м. д. с. катушки будет равно

$$\sqrt{2}Is_n.$$

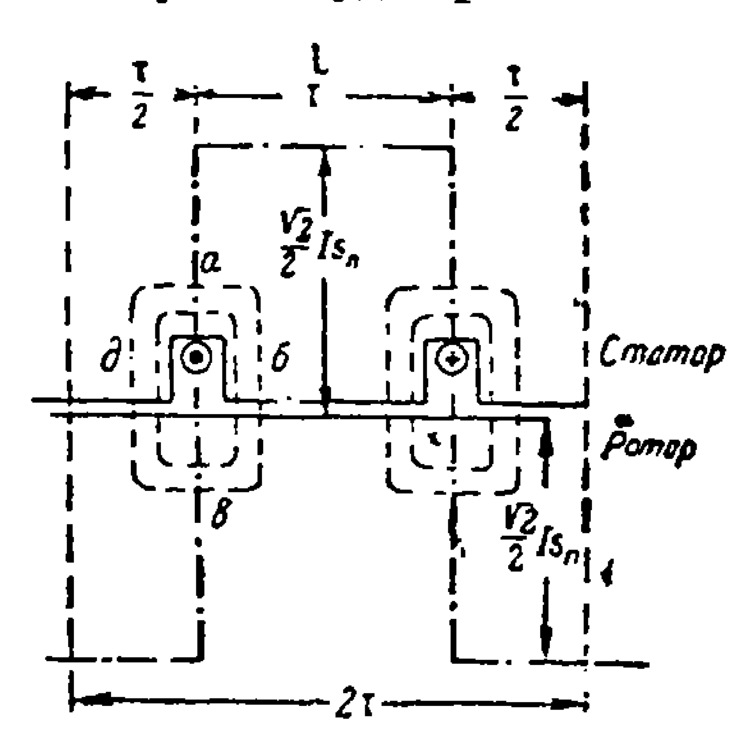


Рис. 74. Кривая м. д. с. катушки.

М. д. с. $\sqrt{2}Is_n$ можно условно представить себе состоящей из двух половин: одной половины, которая необходима, чтобы провести силовую линию от точки *в* через точку *б* к точке *а* рис. 74, и другой, которая необходима, чтобы провести силовую линию от точки *а* через точку *д* к точке *в*.

Таким образом м. д. с. $\frac{\sqrt{2}}{2} Is_n$ тратится на проведение магнитного потока один раз через воздушный зазор машины.

Все силовые линии результирующего магнитного поля, проходящие внутри данной катушки, будут испытывать магнитное напряжение, равное $\frac{\sqrt{2}}{2} Is_n$, направленное от ротора к статору.

При изменении силы тока катушки м. д. с. будет меняться, но всегда оставаться одинаковой для всех силовых линий, проходящих как внутри, так и снаружи катушки. При максимальном значении тока кривая м. д. с. изобразится прямоугольной кривой с максимальной высотой. При уменьшении тока высота прямоугольников будет уменьшаться, и при изменении направления тока кривая м. д. с. изменит знак. Получаем то же самое, что и при рассмотрении пульсирующего поля катушки (рис. 68).

Таким образом при соответствующем подборе масштаба кривые (рис. 69) могут служить одновременно кривой поля и кривой м. д. с. катушки с диаметральным шагом, причем кривая поля была построена, предполагая, что магнитное сопротивление железа равно нулю.

При построении результирующей м. д. с. трех катушек поступаем так же, как при построении вращающегося магнитного поля (рис. 71), т. е. складываем м. д. с. отдельных катушек. Если рассмотреть кривую м. д. с. в момент *1* (рис. 71), то увидим, что на участках окружности

статора *2—3* и *5—6* силовые линии поля находятся под магнитным напряжением всех трех катушек. На участках *3—4* и *4—5*, а также *6—1* и *1—2* силовые линии создаются м. д. с. только катушки фазы *I*,

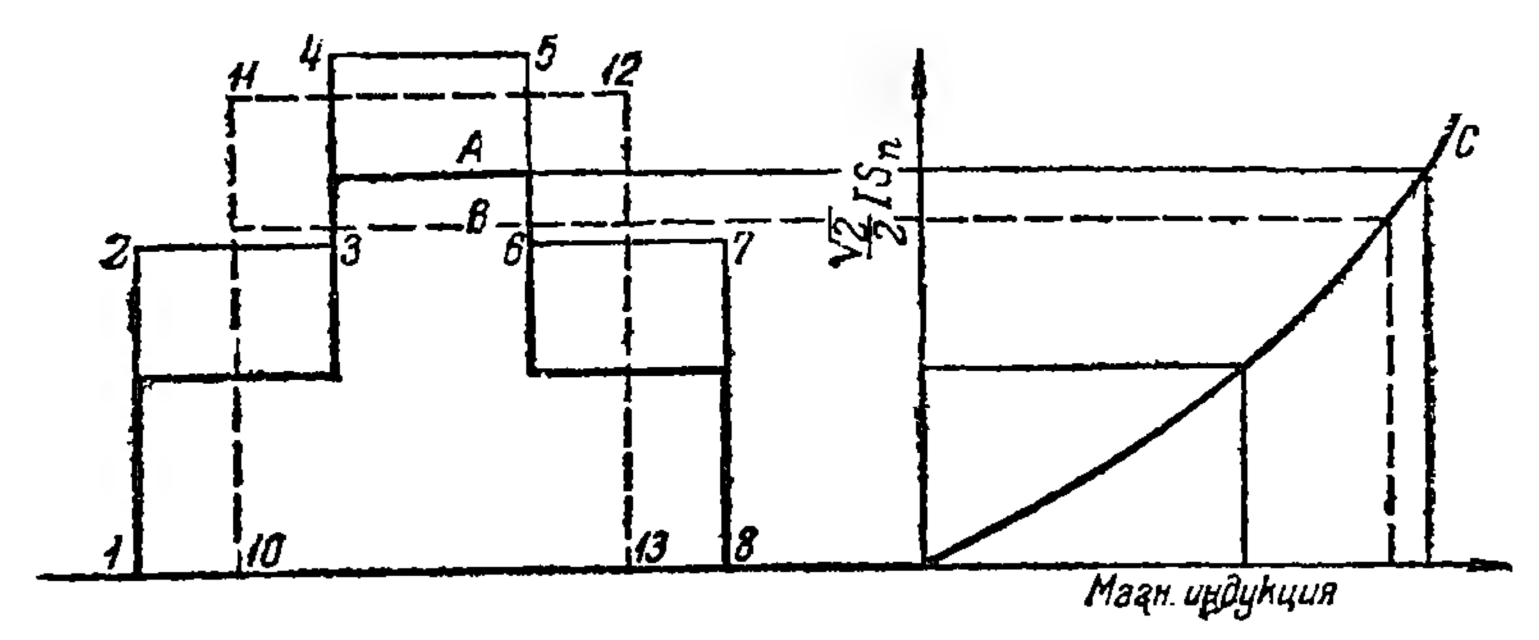


Рис. 75. Кривая поля катушки.

так как м. д. с. двух остальных катушек взаимно уничтожают друг друга.

Рис. 71 показывает, что результирующая м. д. с. несинусоидальна и меняет свой вид. На рис. 75 по результирующим кривым м. д. с. и кривой намагничивания построены кривые поля, тем же способом, что и на рис. 73. Кривой м. д. с. *А* (рис. 75) отвечает кривая поля *1*, *2*, *3*, *4* , *5*, *6*, *7*, *8*, а кривой м. д. с. *В* — кривая *10*, *11*, *12*, *13*.

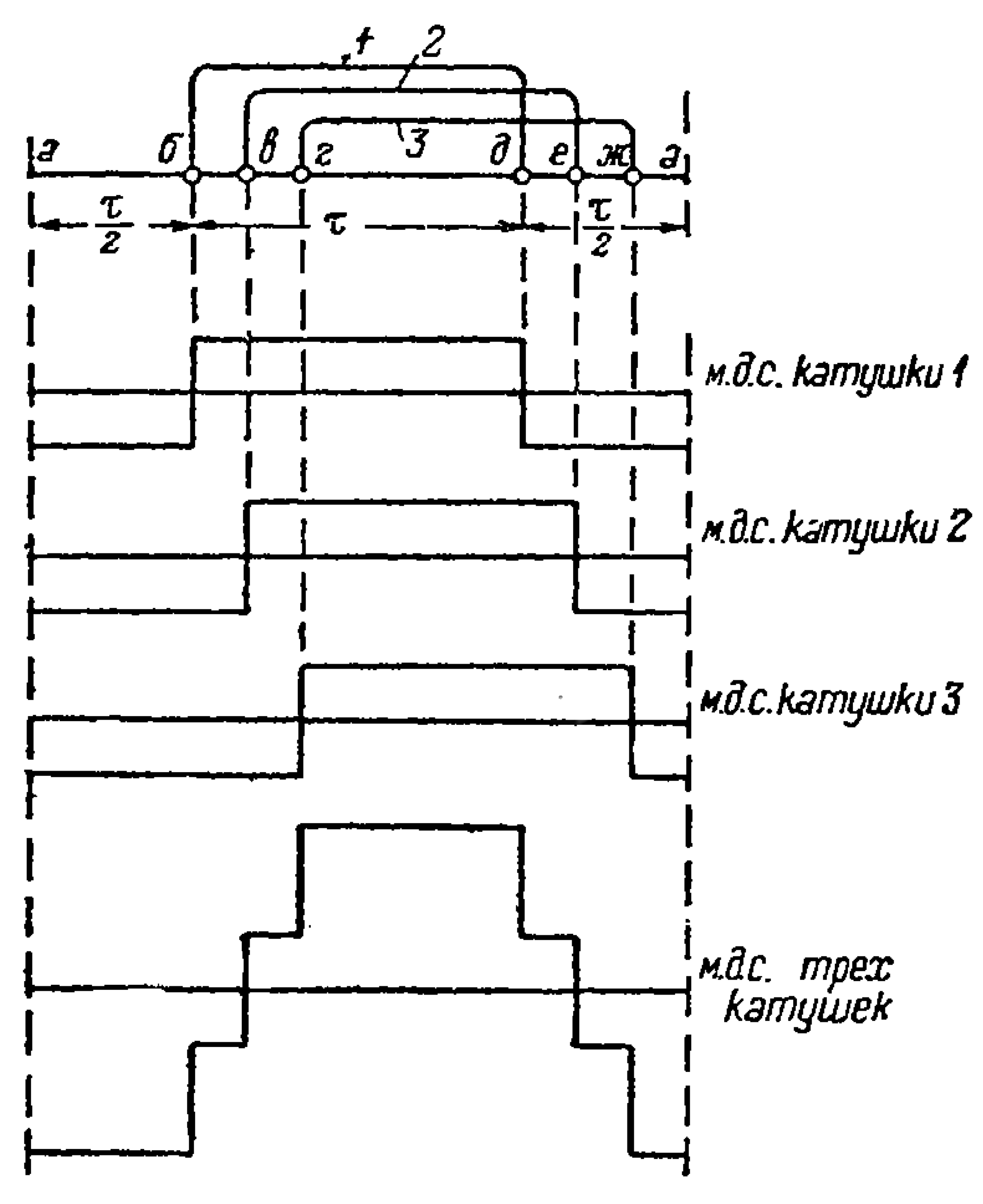


Рис. 76. Кривая м. д. с. катушечной группы.

Обе кривые поля несинусоидальны. Как показывает рис. 73, кривая поля получается очень близкой к синусоиде, если результирующая м. д. с. распределяется по синусоиде. Если пренебречь магнитным сопротивлением железа, то при синусоидальной м. д. с. кривая поля получится также синусоидальной. Поэтому нашей задачей является получение обмотки с синусоидальным распределением м. д. с. Если вместо одной катушки взять в каждой фазе по катушечной группе из нескольких катушек в каждой, то кривая м. д. с. будет более синусоидальной.

Предположим, что катушечная группа имеет три катушки с диаметральным шагом (рис. 76). Задаваясь каким-нибудь значением силы

тока, строим кривую м. д. с. для каждой катушки в отдельности и затем эти кривые складываем, получаем результирующую м. д. с. всей катушечной группы. Эта кривая показывает, что только на участках *г—д* и *ж—б* результирующая м.д.с. является суммой м.д.с. отдельных катушек. На участках расположения сторон катушек *б—г* и *д—ж* (фазных зонах) результирующая м. д. с. всегда меньше суммы м. д. с. катушек. Таким образом замена одной катушки катушечной группой ухудшает использование обмотки.

Обычно отношение

$$\frac{\text{м. д. с. катушечной группы}}{\text{м. д. с. катушки с тем же числом витков}}$$

называют **обмоточным коэфициентом распределения**. Он всегда меньше единицы.

Предположим теперь, что в фазе *I* ток имеет максимальное значение, тогда в фазах *II* и *III* ток будет в два раза меньше и будет иметь противоположное направление, так как фазные токи сдвинуты по фазе. Построим результирующую м. д. с. катушечной группы каждой фазы по кривым м. д. с. *I*, м д. с. *II* и м. д. с. *III* (рис. 77). Складывая эти кривые, получим результирующую м. д. с. всей обмотки. Из рис. 77 видно, что эта кривая гораздо ближе к синусоиде, чем кривая рис. 71. Это говорит за то, что **с увеличением числа катушек в катушечной группе кривая м. д. с., а поэтому и кривая вращающегося магнитного поля приближаются к синусоиде.**

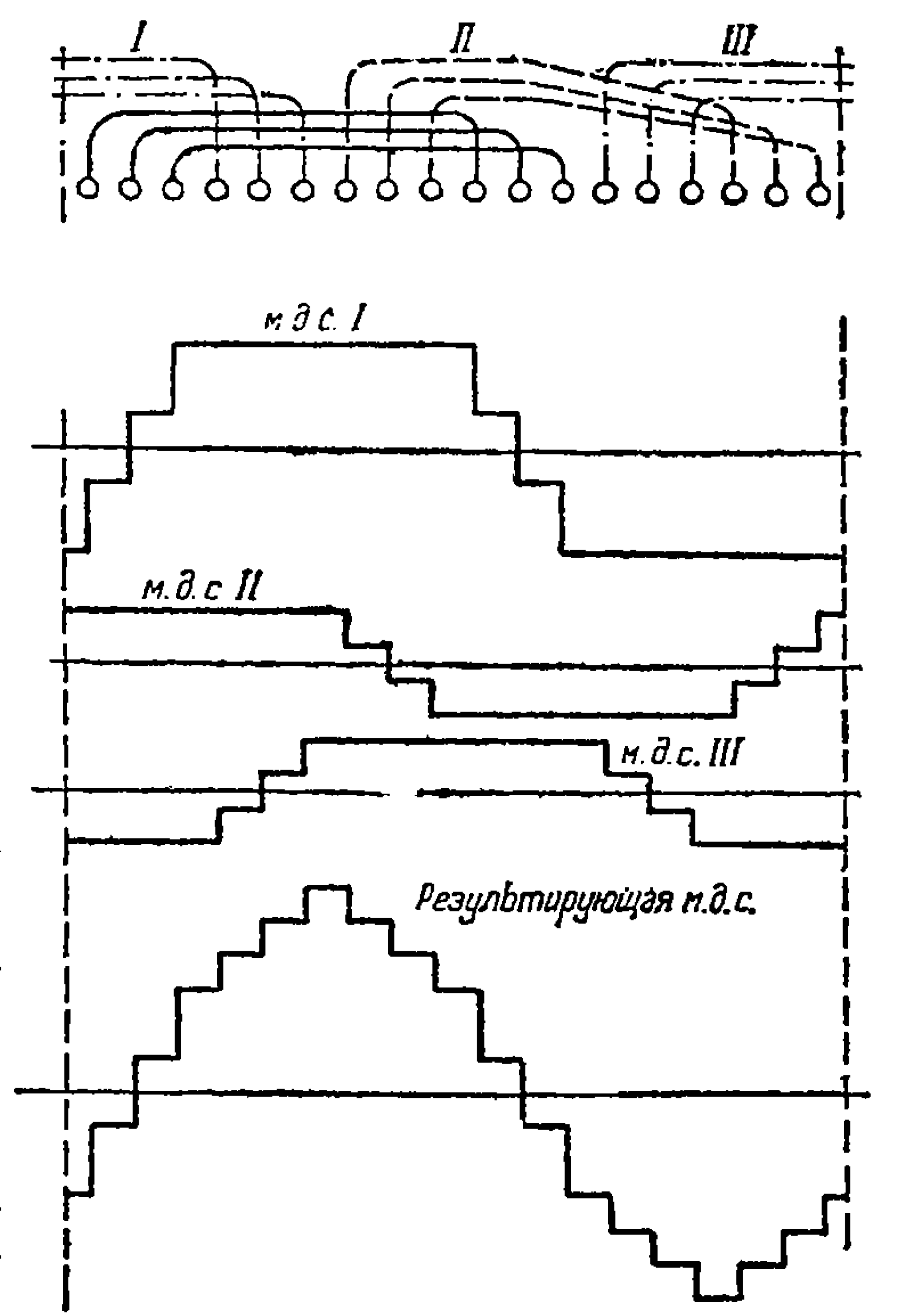


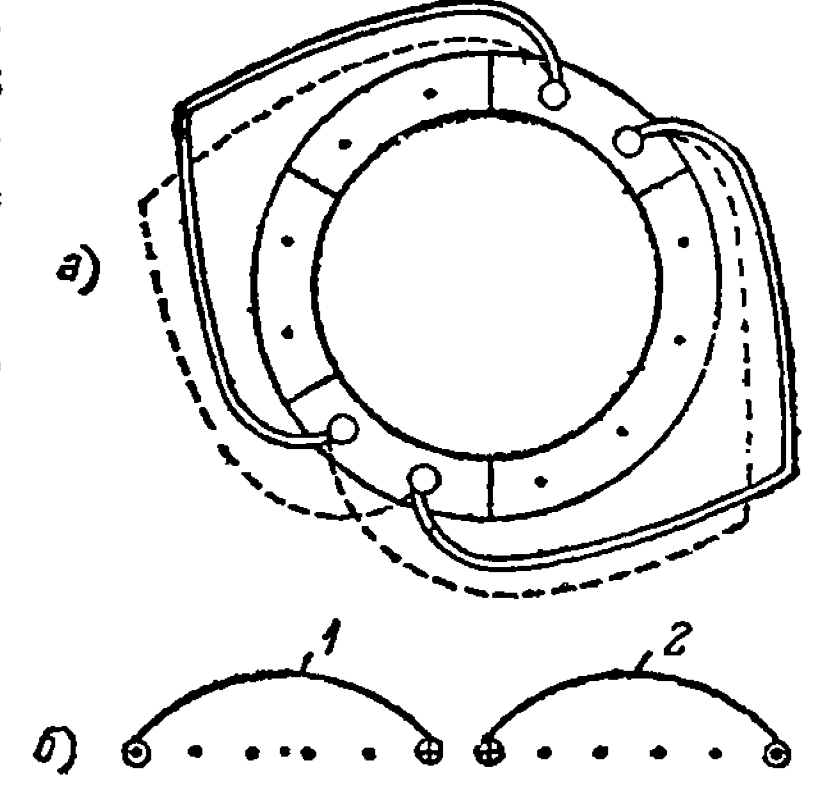
Рис. 77. Кривая м. д. с. трехфазной обмотки.

Г. Кривая м. д. с. обмотки со сплошными фазными зонами и с укороченным шагом катушек

Выше мы условились называть фазными зонами участки статора, на которых должны находиться стороны катушечных групп той или иной фазы (рис. 61, 62). Кроме того, на рис. 53, 54 было рассмотрено образование катушечной группы с диаметральным шагом. Попутно

было выяснено, что если стороны катушек не выходят за границы фазной зоны, то при любой ширине катушки обмотка будет обладать свойствами обмотки с диаметральным шагом. Все разобранные однослойные обмотки характерны были тем, что фазные зоны занимались только сторонами катушек своей фазы, поэтому их назвали **обмотками со сплошной фазной зоной**.

Рассмотрим теперь кривую м. д. с. одной катушки с укороченным шагом. На рис. 78 изображено распределение силовых линий поля, создаваемое катушкой с укороченным шагом. Из рис. 78 видно, что магнитный поток, входящий в зазор из ротора, распределяется в зазо-



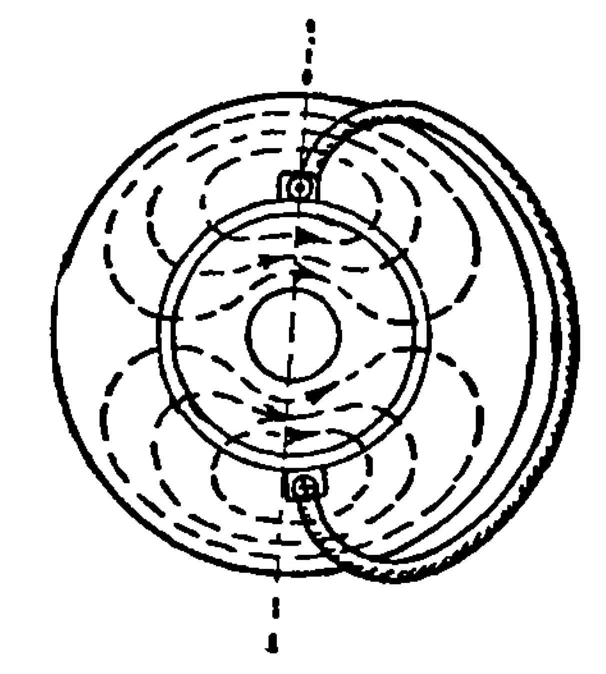
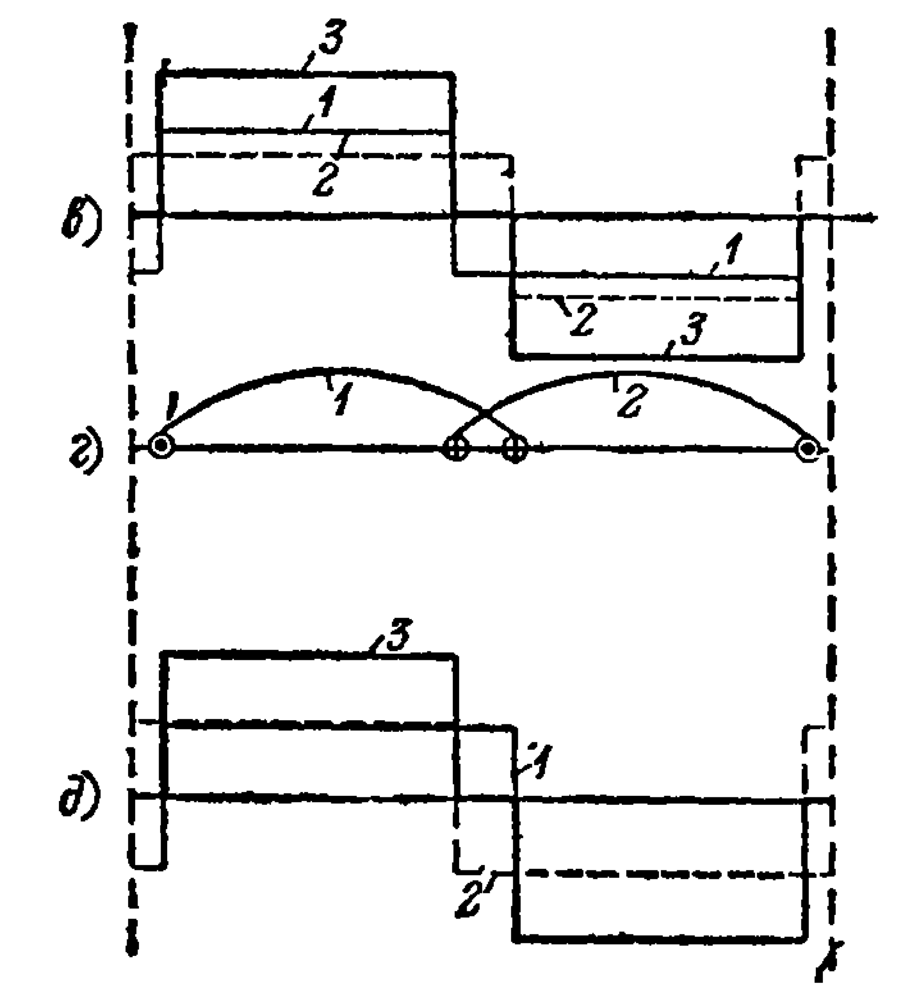


Рис. 78. Распределение силовых линий при укороченном шаге катушки.



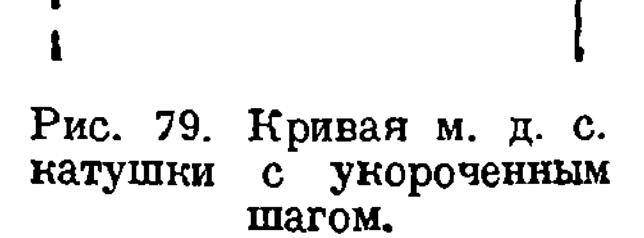


Рис. 79. Кривая м. д. с. катушки с укороченным шагом.

Рис. 80. Сравнение кривых м. д. с. катушек с укороченным и диаметральным шагами.

ре на меньшем участке длины окружности статора, чем поток, входящий в зазор из статора. Так как магнитный поток один и тот же, то очевидно силовые линии внутри катушки будут гуще, чем снаружи. Таким образом катушка с укороченным шагом создает два полюса неодинаковой ширины и с неодинаковыми индукциями. Поэтому и кривая м. д. с. также будет иметь прямоугольники, не равные по ширине

и высоте (рис. 79). Площади этих прямоугольников должны быть равными, так как поток внутри катушки один и тот же.

Обозначим ширину катушки через b, тогда, исходя из равенства площадей, найдем:

$$\frac{\text{м. д. с.}_1}{\text{м. д. с.}_2} = \frac{2\tau - b}{b}.$$

На рис. 80, *а* изображена двухполюсная обмотка, у которой катушечные группы одной фазы состоят из двух катушек. Сплошными линиями указаны катушки с укороченным шагом, а пунктирными — с диаметральным.

На рис. 80, *б* изображена катушка с укороченным шагом на развернутом статоре, а на рис. 80, *г* — катушка с диаметральным шагом.

На рис. 80, *в* показано построение результирующей м. д. с. одной катушечной группы с катушками с укороченным шагом — кривая *3*, а на рис. 80, *д* — с катушками с диаметральным шагом — кривая *3*. Та и другая кривая получены сложением кривых м. д. с. катушек *1* и *2*.

Сопоставляя кривые *3* на рис. 80, *в* и 80, *д*, приходим к заключению, что кривые ничем друг от друга не отличаются.

Таким образом обмотки со сплошными фазными зонами с укороченным шагом для катушечных групп дают те же самые кривые м. д. с, что и обмотки с диаметральным шагом, что приводит к тому, что и результирующая м. д. с. всей обмотки и вращающееся магнитное поле будут для этих обмоток одинаковы.

Таким образом электрические и магнитные свойства обмоток со сплошными фазными зонами не зависят от ширины катушек.

Имея более короткие лобовые части, обмотки с укороченным шагом имеют преимущества перед обмотками с диаметральным шагом. Этим объясняется, почему в последнее время такие обмотки получают большее распространение.

4. ОДНОСЛОЙНЫЕ ОБМОТКИ С НЕСПЛОШНОЙ ФАЗНОЙ ЗОНОЙ

Существуют обмотки, у которых не все стороны катушек одной фазной зоны размещаются в соседних пазах. Некоторые стороны катушек размещаются на фазных зонах соседних фаз. Такие обмотки можно назвать обмотками с несплошными фазными зонами. Вполне очевидно, что такие обмотки можно выполнить только с катушками, ширина которых не равна полюсному делению τ, т. е. с катушками с недиаметральным или с укороченным шагом. Часто эти обмотки поэтому называют обмотками с укороченным шагом.

На рис. 81, *а* изображена четырехполюсная машина с четырьмя катушечными сторонами на фазную зону. Схема обмотки составлена таким образом, что две стороны оставлены на своей фазной зоне, а две другие помещены в соседние.

На рис. 81, *б* изображена основная синусоида кривой поля (см. рис. 50) и синусоида с шагом $\frac{\tau}{5}$. На рис. 81, *в* изображены те же синусоиды (только на одно полюсное деление τ) и показано распределение

сторон одной фазы в случае обмотки со сплошной фазной зоной. Сравнивая рис. 81, *б* и 81, *в*, можно для обмотки с несплошной фазной зоной вывести следующее:

1. Э. д. с. от основной синусоиды уменьшается, так как сумма индукций $1+2+3+4$ на рис. 81, *б* меньше суммы индукций $1'+2'+3'+4'$ на рис. 81, *в*.

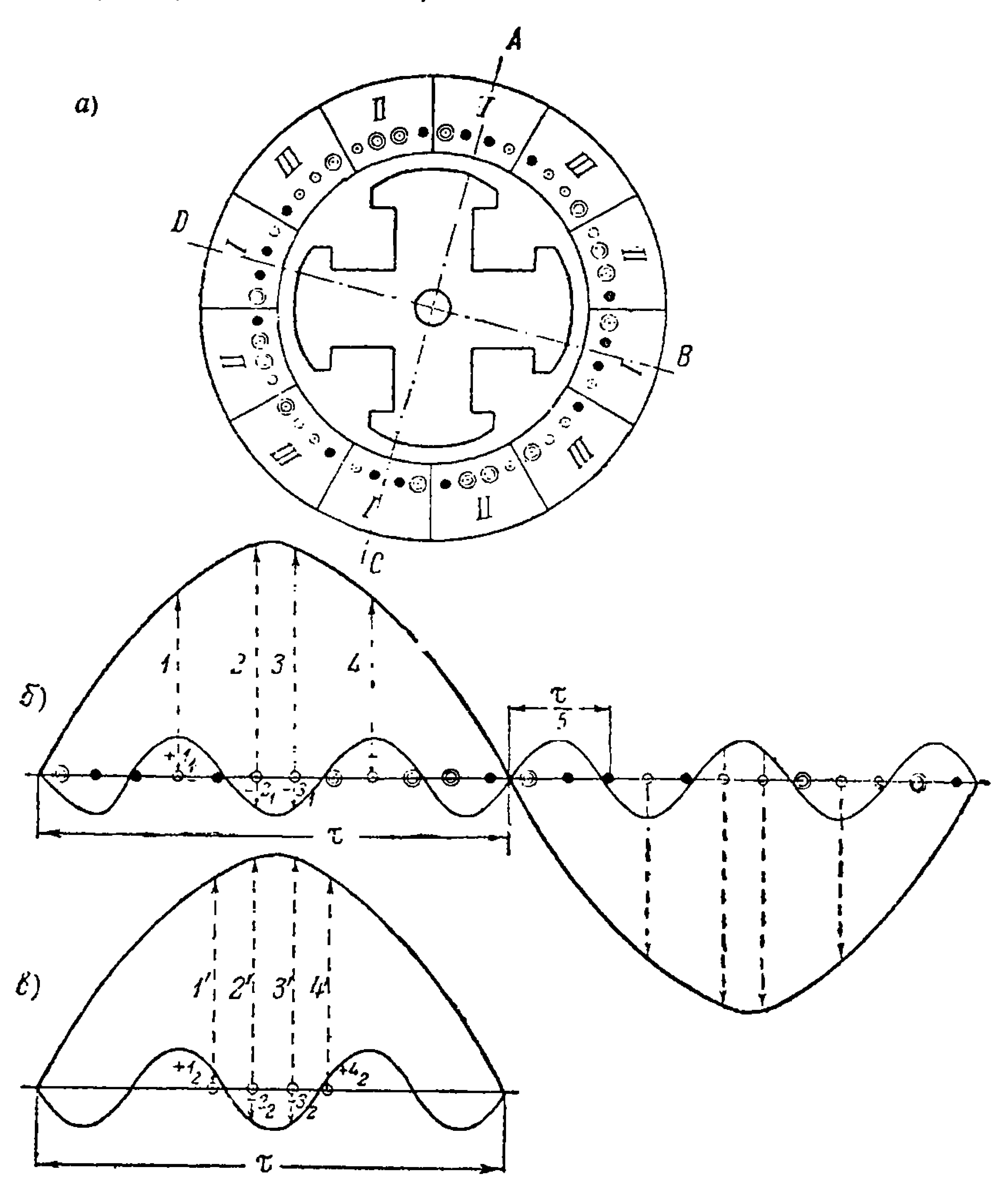


Рис. 81. Распределение сторон катушек одной фазы с несплошной фазной зоной при четном числе сторон на полюс и фазу.

2. Э. д. с. от синусоиды с шагом $\frac{\tau}{5}$ уменьшается, так как абсолютная сумма индукций $+1_1+(-2_1)+(3_1)+4_1$ меньше суммы индукций $+1_2+(-2_2)+(-3_2)+4_2$, что объясняется тем, что стороны оказались распределенными на большем участке статора. Но в то время как э. д. с. от основной синусоиды уменьшается очень незначительно

(примерно на 8%), э. д. с. от синусоиды с шагом $\frac{\tau}{5}$ уменьшается значительно сильнее. В нашем примере эта э. д. с. уменьшается в 2,5 раза.

Все это говорит за то, что при несплошном заполнении фазной зоны кривая э. д. с. становится более синусоидальной. Но, как и следовало ожидать, использование основного магнитного потока уменьшилось.

На рис. 82 произведено сопоставление тех же обмоток в отношении кривых м. д. с.

На рис. 82, *а* показана схема соединения катушек одной фазы, на рис. 82, *в*, *г* и *д*—кривые м. д. с. отдельных катушек, а на рис. 82, *ж*—результирующая м. д. с. фазы.

На рис. 82, *б* показано расположение той же фазы при сплошном заполнении фазной зоны, а на рис. 82, *з* — результирующая м. д. с. этой фазы. Сопоставляя рис. 82, *ж* и 82, *з* можно заключить, что кривая рис. 82, *ж* ближе к синусоиде, чем кривая рис. 82, *з*. Таким образом и в отношении создания вращающегося магнитного поля обмотки с несплошными фазными зонами также дают преимущества.

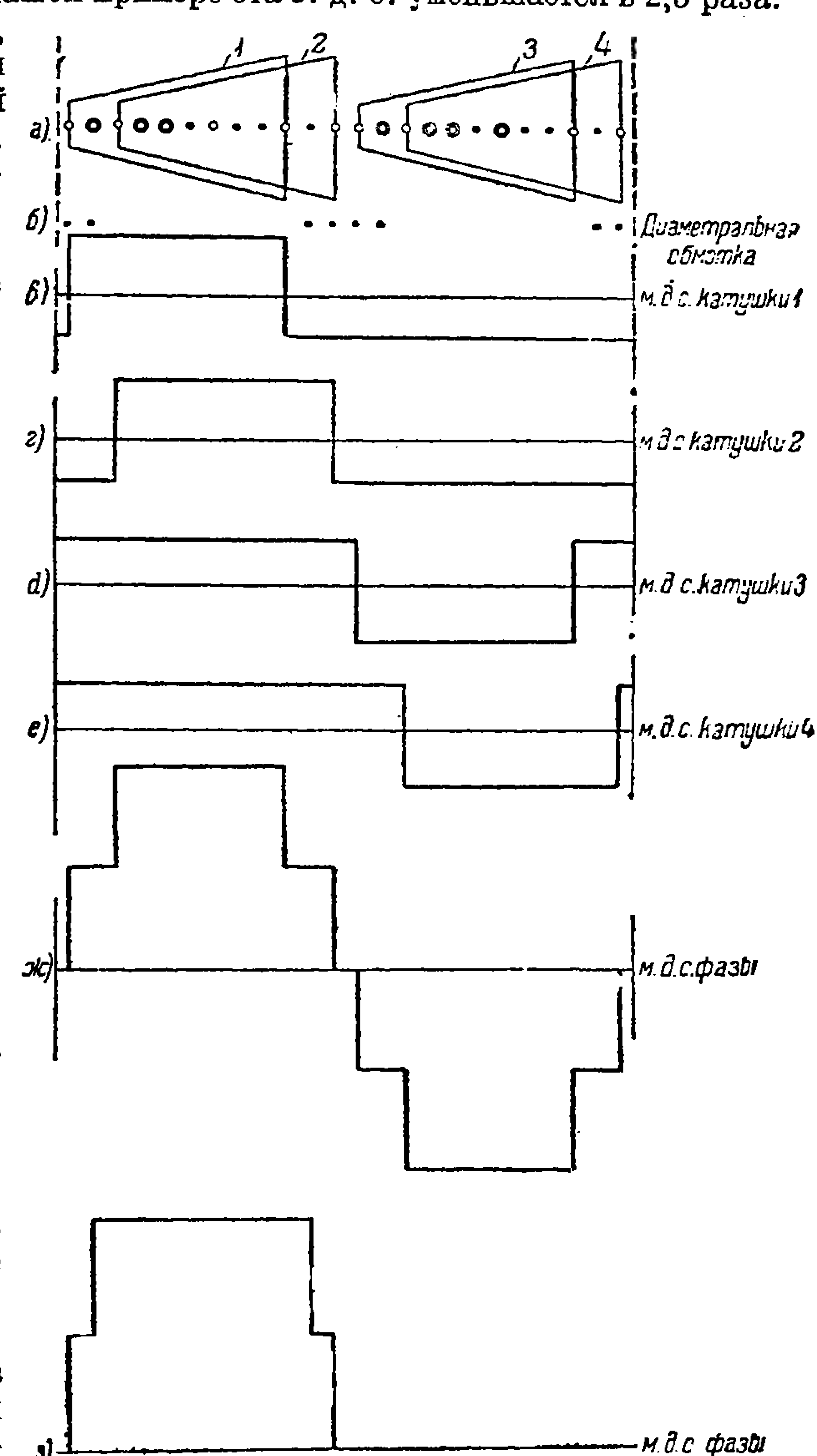


Рис. 82. Сравнение кривых м. д. с. при несплошной и сплошной фазных зонах при четном числе сторон на полюс и фазу.

Рассмотрим случай, когда катушечные группы составляются из нечетного числа катушек. В виде примера на рис. 83 изображена катушечная группа, состоящая из трех катушек.

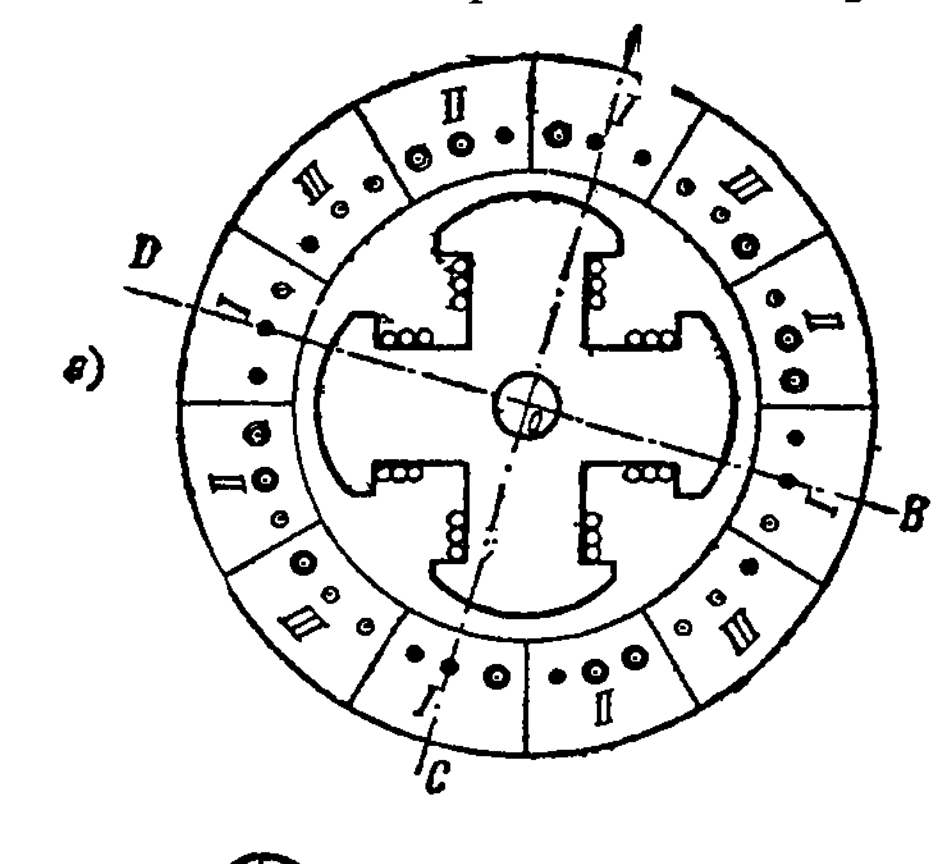
На рис. 83, *а* изображена четырехполюсная машина с указанием размещения сторон катушек на фазных зонах.

На рис. 83, *б* изображена основная синусоида кривой поля двух полюсов и синусоиды с шагом $\frac{\tau}{5}$, а также показано размещение сторон катушек рассматриваемой обмотки.

На рис. 83, *в* изображены те же синусоиды кривой поля только на один полюс и показано размещение сторон катушек обмотки со сплошной фазной зоной. Сравнивая рис. 83, *б* с рис. 83, *в*, можно для обмотки с несплошной фазной зоной вывести следующее:

1. Э. д. с. основной синусоиды уменьшается, так как сумма индукций $1+2+$ $+3+4+5+6$ меньше суммы индукций $2 \cdot 1' + 2 \cdot 2' + 2 \cdot 3'$.

2. Э. д. с. синусоиды с шагом $\frac{\tau}{5}$ уменьшается, так как стороны катушек оказываются распределенными на более широком участке статора.



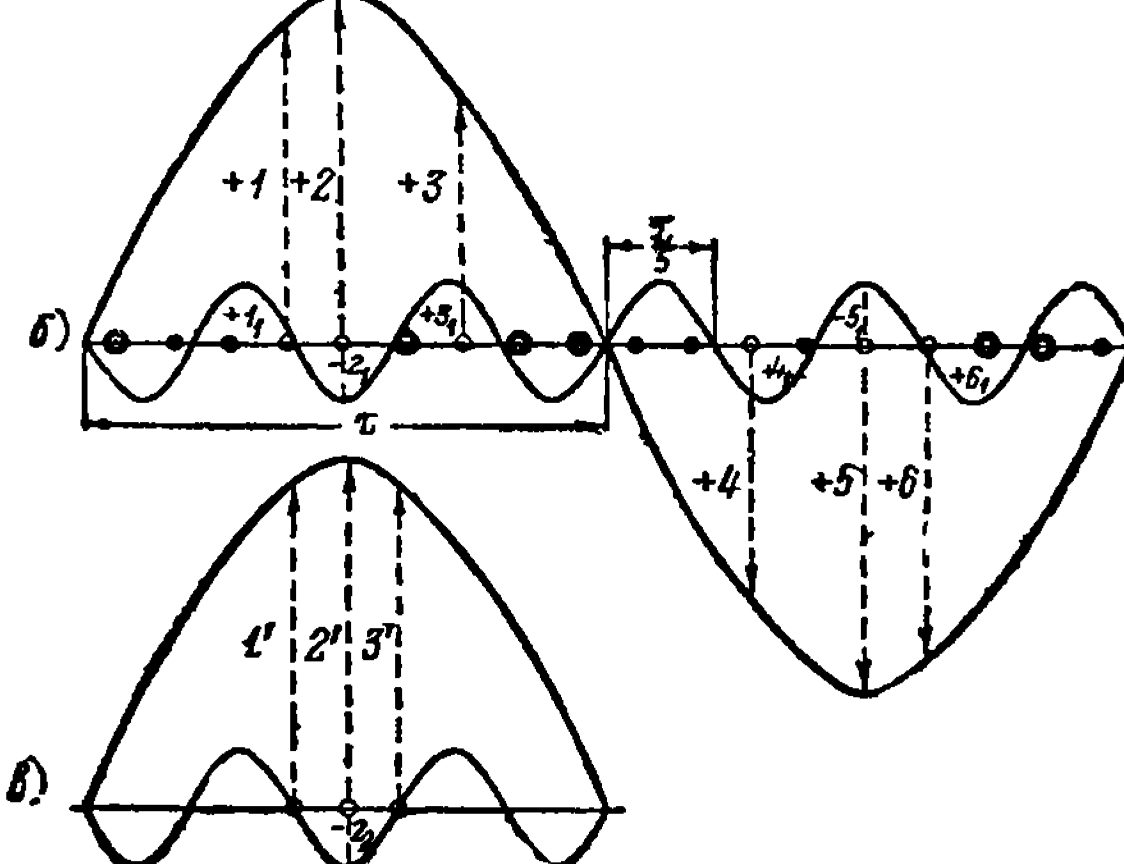


Рис. 83. Распределение сторон катушек одной фазы с несплошной фазной зоной при нечетном числе сторон на полюс и фазу.

Таким образом и при нечетном числе катушек в катушечной группе получаем уменьшение э. д. с., причем более значительное для э. д. с., вызванных магнитным полем синусоиды с шагом $\frac{\tau}{5}$.

Поэтому в отношении влияния на кривую э. д. с. получаем то же самое, что и при четном числе катушек, т. е. — приближение кривой э. д. с. к синусоиде.

Хуже обстоит дело с созданием вращающегося магнитного поля.

На рис. 84 показано построение кривой м. д. с. рассматриваемой обмотки и обмотки со сплошной фазной зоной. Сопоставляя рис. 84, *д* с рис. 84, *е*, видим, что в то время как при сплошных фазных зонах обмотка имеет кривые м. д. с. фазы одинаковой формы для того и дру-

гого полюса, обмотка с несплошными фазными зонами имеет несимметричную кривую м. д. с., т. е. кривые м. д. с. отдельных полюсов имеют различный вид. Если по этим кривым м. д. с. построить кривые поля рис. 85, пользуясь кривой намагничивания, то получим для одного полюса кривую поля *1*, *2*, *3*, *4*, *5*, *6*, *7*, *8*, а для другого — *8*, *9*, *10*, *11*, *12*, *13*, *14*, *15*. Другими словами: обмотка с несплошной фазной зоной при нечетном числе катушек в катушечной группе дает несимметричную кривую поля. Это объясняется следующим.

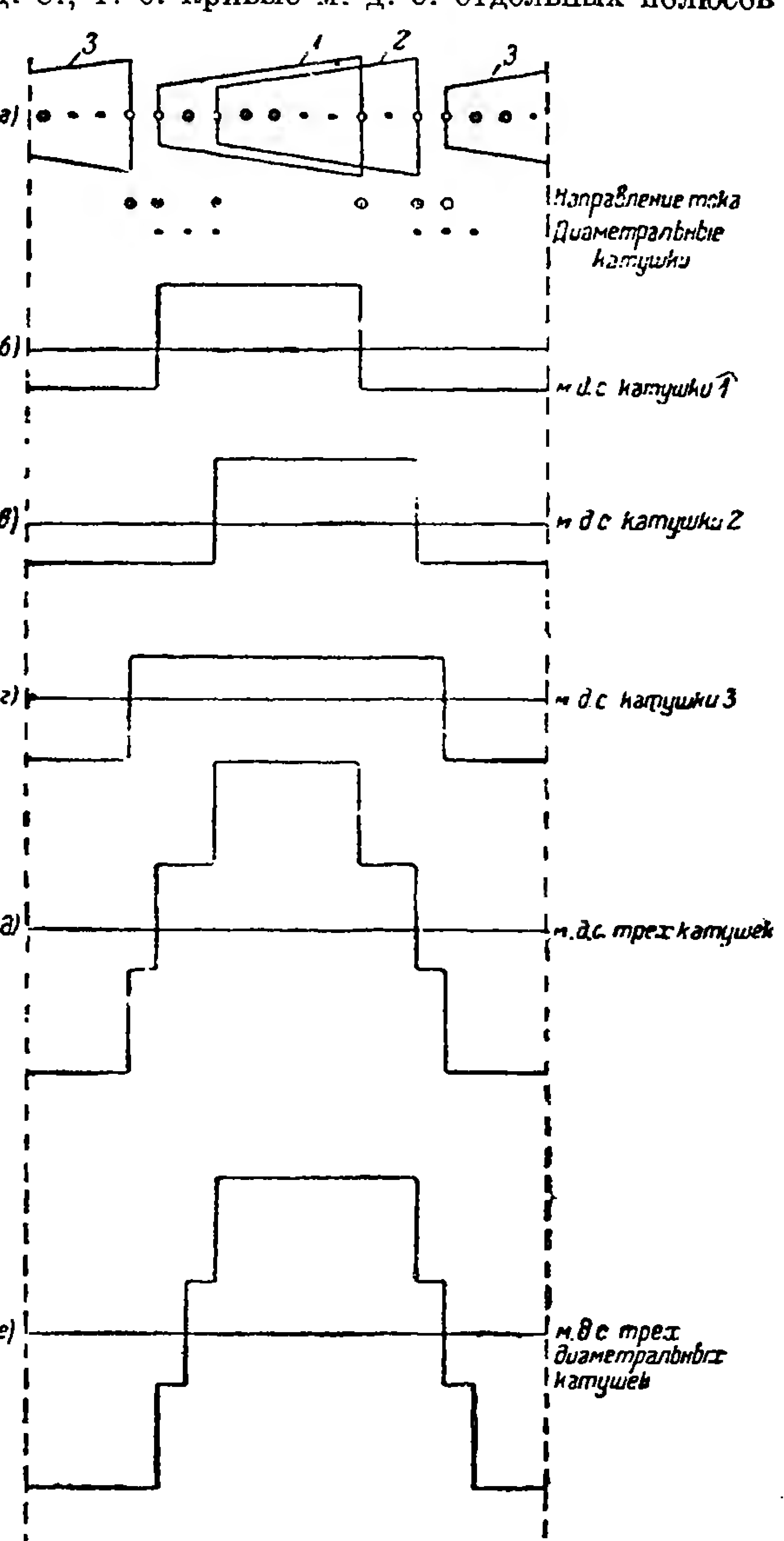


Рис. 84. Сравнение кривых м. д. с. при несплошной и сплошной фазных зонах при нечетном числе сторон на полюс и фазу.

Если провести оси *OA*, *OB*, *OC*, *OD* через середину фазной зоны какой-либо фазы (на рис. 83, *а* — фазы *I*), то увидим, что стороны катушек данной фазы располагаются относительно оси несимметрично. При четном числе катушек в катушечной группе (рис. 81, *а*) стороны катушек располагаются симметрично.

Обмотки с нечетным числом катушек в катушечной группе по возможности следует избегать как для асинхронных двигателей, так и для синхронных машин, так как они в первом случае дают несинусоидальное вра-

щающееся поле, а во втором — увеличивают потери.

5. СХЕМЫ ОДНОСЛОЙНЫХ ОБМОТОК

А. Схемы и классификация

После того как мы выяснили основные правила получения обмотки, перейдем к рассмотрению практического выполнения их схем.

Обозначим через Z — число пазов статора, $2p$ — число полюсов, m — число фаз.

Тогда число фазных зон будет равно $2pm$, и число пазов на фазную зону будет равно $Z/2pm$.

Число пазов на фазную зону, или, как обычно называют, число пазов на полюс и фазу, будем обозначать через q.

В однослойных обмотках число пазов на полюс и фазу обычно бывает целым числом, хотя имеются однослойные обмотки и с дробным q.

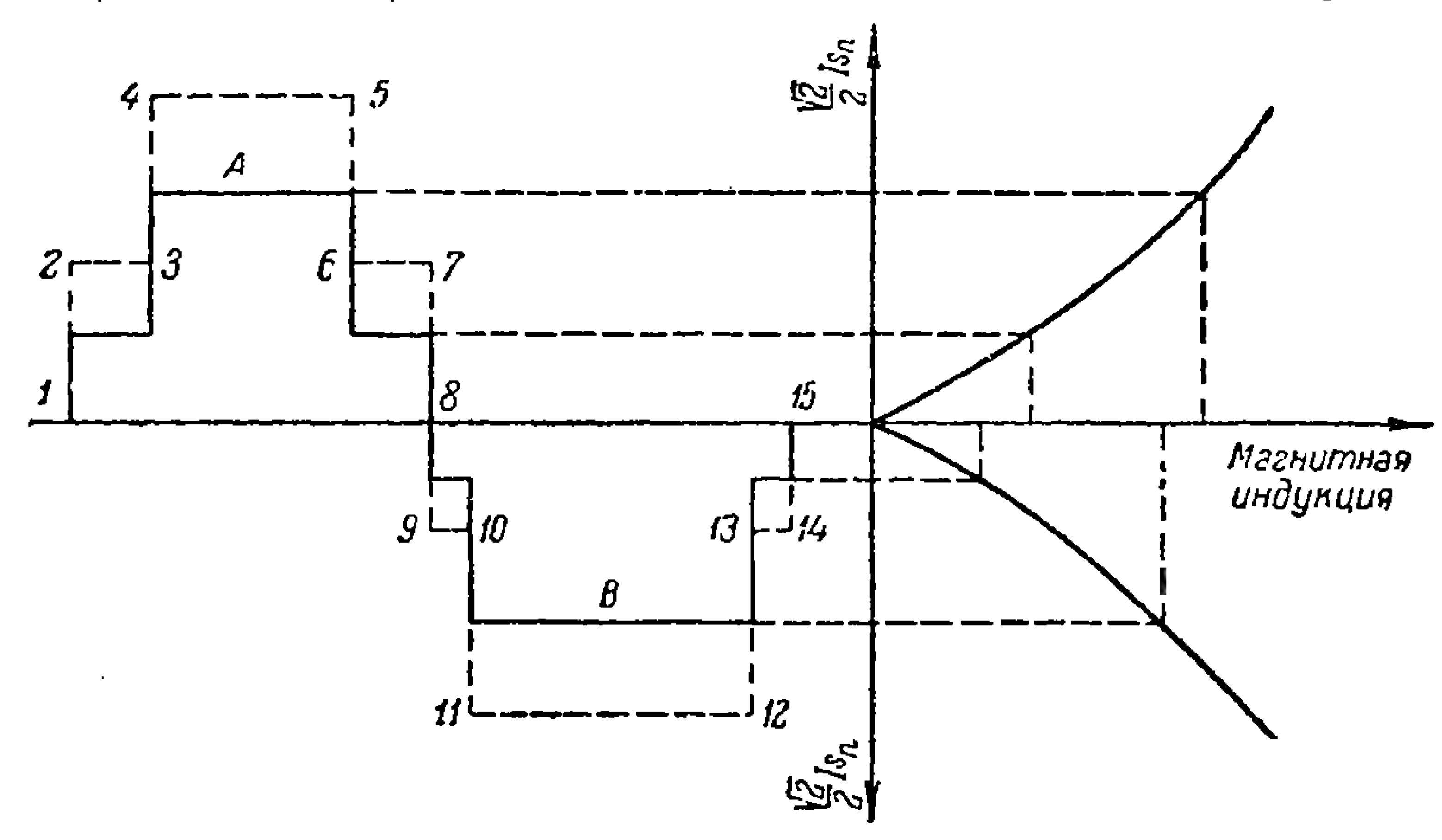


Рис. 85. Кривая поля при несплошной фазной зоне и нечетном числе сторон на полюс и фазу.

Ввиду того, что однослойные обмотки с дробным q в последнее время встречаются редко, мы их рассматривать не будем. Двухслойные обмотки с дробным q будут рассмотрены ниже.

Так как в однослойных обмотках стороны катушки занимают весь паз, то число сторон на фазной зоне будет равно числу пазов на фазную зону, т. е. q. Поэтому на каждый участок статора, занятого фазной зоной (рис. 63), будет приходиться по q пазов.

Выше мы видели, что число сторон катушек в фазной зоне сильно влияет на электрические и магнитные свойства обмотки. Мы выяснили, что, увеличивая q, мы улучшаем кривую э. д. с. и кривую вращающегося магнитного поля, но зато ухудшаем как использование, так и получение основного магнитного потока. Поэтому q является одной из основных величин, характеризующих обмотки.

Выше мы выяснили, что однослойные обмотки можно разбить на две группы: 1) обмотки со сплошными фазными зонами и 2) обмотки с несплошными фазными зонами.

При одном и том же q последние давали лучшие результаты в отношении как синусоидальности э. д. с., так и синусоидальности распределения магнитного потока, и худшие результаты в отношении использования основного магнитного потока. При нечетном q эти обмотки образуют несимметричное магнитное поле, в то время как обмотки со сплошными фазными зонами при том же q дают симметричное поле. Выбор той или иной обмотки является одним из основных элементов расчета машины.

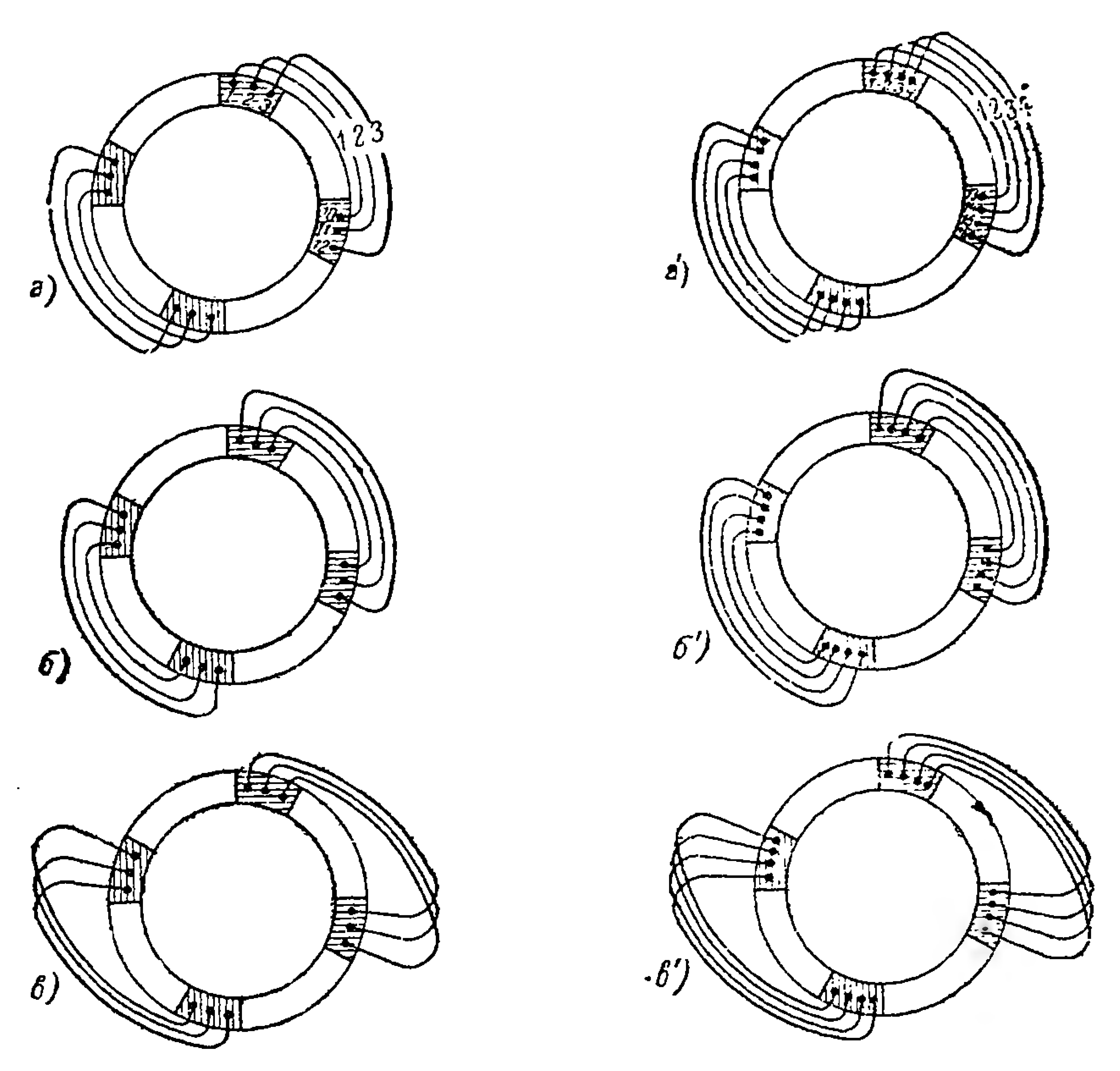


Рис. 86. Выполнение лобовых частей.

В отношении выполнения катушек обмотки отличаются тем, что обмотки со сплошными фазными зонами могут иметь катушки и с диаметральным и с укороченным шагом, обмотки же с несплошными фазными зонами — катушки только с укороченным шагом.

Перейдем теперь к классификации однослойных обмоток по выполнению катушек, катушечных групп, размещению лобовых частей и т. д.

На рис. 63 была приведена принципиальная схема трехфазной однослойной обмотки. На рис. 86, *а* и *а'* отдельно изображено принципиальное выполнение катушечных групп четырехполюсной машины

при нечетном q ($q = 3$) и четном q ($q = 4$). Если бы мы захотели оставить такое выполнение катушечных групп, то натолкнулись бы на большие трудности. Действительно, для того чтобы образовать катушку *1* (рис. 86, *а* и *а'*), нам нужно, выйдя из 1-го паза, загнуть лобовую часть направо и вести ее до другого паза той же катушки. Из схемы видно, что для этого мы должны как-то отогнуть лобовые части других катушек.

Переходя к катушке *2*, мы очевидно лобовые части катушек *3* и *4* должны также отогнуть, чтобы можно было пропустить лобовую часть катушки *2*, и т. д. Учитывая, что, кроме изображенных на рисунке катушечных групп, будут катушечные группы двух других фаз, получим, что выполнение обмотки получается крайне сложным. Поэтому в целях облегчения производства, экономии меди на лобовых частях, уменьшения вылета обмотки и т. д. в практике остановились на двух основных видах изготовления.

Первый вид изготовления характеризуется тем, что все катушки катушечной группы имеют различную ширину и концентрически входят одна в другую. Поэтому такие обмотки обычно называют обмотками с концентрическими катушками (рис. 86, *б*).

Второй вид изготовления характеризуется тем, что все катушки обмотки одинаковы (рис. 86, *в* и *в'*). Поэтому такие обмотки называют симметричными или шаблонными обмотками.

В свою очередь каждый из этих двух основных типов обмоток также разбивается на типы, о которых будет сказано ниже.

Б. Обмотки с концентрическими катушками

Выше мы выяснили, что в однослойных обмотках на каждую пару полюсов и фазу приходится по одной катушечной группе. Таким образом в общем случае обмотка имеет $3p$ катушечных групп.

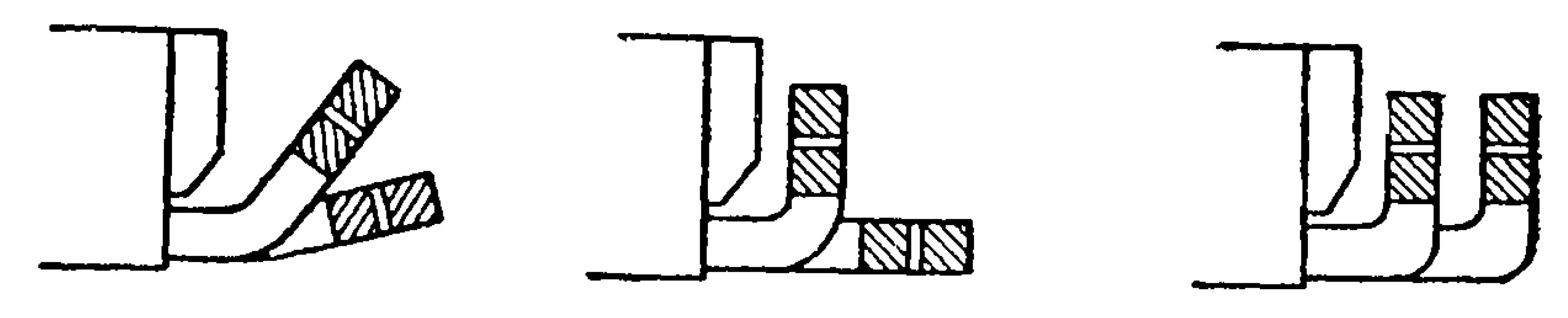


Рис. 87. Расположение лобовых частей плоскостных концентрических обмоток с $q = 2$.

Если p равно четному числу, то обмотка будет иметь четное число катушечных групп. В этих случаях можно поступить следующим образом: лобовые части одной половины катушечных групп поместить в одной плоскости, а второй половины — в другой (рис. 87).

Если p равно нечетному числу, то обмотка будет иметь нечетное число катушечных групп. В этих случаях одна катушечная группа получается «кривой» или «переходной». На рис. 88 изображены схемы концентрической обмотки при четном и нечетном числе пар полюсов с расположением лобовых частей в двух плоскостях. Обмотки такого

типа носят название **двухплоскостных концентрических катушечных обмоток.**

На рис. 89 приведены торцовая и развернутая схемы обмотки с $2p = 4$, $Z = 48$, $q = 4$. Сопряжение фаз — звездой.

Если лобовые части одной половины катушек каждой катушечной группы отогнуть в одну сторону, а второй половины в другую, то катушечная группа разделяется на две полугруппы. Тогда число катушечных полугрупп в каждой фазе будет равно числу полюсов, и лобовые части их займут на торцовой поверхности статора всю окружность. В этом случае лобовые части катушек одной фазы располагаются в одной плоскости. Таким образом лобовые части катушек располагаются в трех плоскостях (рис. 90). Такие обмотки носят название трехплоскостных концентрических катушечных обмоток. Часто эти же обмотки называют концентрическими обмотками «вразвалку», подчеркивая тем самым, что катушки отгибаются в разные стороны. Полная схема такой обмотки изображена на рис. 91; данные обмотки те же, что и на рис. 89. Так как лобовые части каждой фазы располагаются в одном слое, то в этих обмотках удается избегать кривых катушек при нечетном числе пар полюсов p.

Рис. 88. Схемы концентрической двухплоскостной катушечной обмотки при четном и нечетном числе пар полюсов.

Характерной особенностью концентрических обмоток является то обстоятельство, что катушки имеют различную форму и длину. Это имеет большое значение при наличии параллельных ветвей. Действительно, при образовании параллельных ветвей нам необходимо не только чтобы э. д. с. каждой параллельной ветви были равны, но чтобы и активное и реактивное сопротивления ветвей также были равны между собой. В противном случае при равных э. д. с. ток в ветвях может получиться неравным, что приведет к появлению уравнительных токов.

Для того чтобы активное и реактивное сопротивления ветвей (в двухплоскостных обмотках) были одинаковыми, необходимо, чтобы в каждую параллельную ветвь вошло по одинаковому числу катушеч-

ных групп из обеих плоскостей. Обозначим число параллельных ветвей через a. Тогда число катушечных групп в параллельной ветви будет по $\frac{p}{2a}$ из каждой плоскости.

Поэтому только в том случае, когда $\frac{p}{2a}$ равно целому числу, мы сможем получить обмотку с равными сопротивлениями. При $a = 2$ это возможно только при $p = 4, 8, 12$ и т. д. Во всех остальных случаях сопротивления параллельных ветвей получаются неодинаковыми. Чтобы избежать этого (при четном числе пазов на полюс и фазу), можно образовывать параллельные ветви не из целых катушечных групп, а из половин. Предположим, что $p = 2$ и $q = 2$ (рис. 88, *б*). Включим в одну параллельную ветвь катушки *1* и *3*, а в другую — *2* и *4* вместо того, чтобы включить катушки *2* и *3* и *1* и *4*. Так как катушки *1* и *4* — наиболее длинные, а катушки *2* и *3* — наиболее короткие, то в первом случае мы не получим разницы в сопротивлениях.

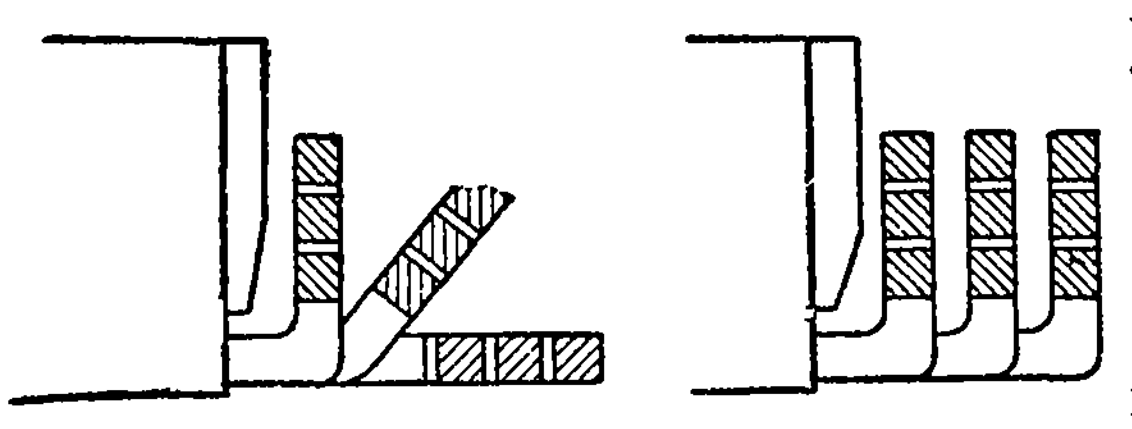


Рис. 90. Расположение лобовых частей трехплоскостных концентрических обмоток с $q = 3$.

В трехплоскостных обмотках катушечные полугруппы фазы лежат в одной плоскости. Поэтому образование параллельных ветвей в этих обмотках не встречает затруднений в смысле неравенства сопротивлений ветвей. В этих обмотках сопротивления фаз получаются неодинаковыми, так как форма катушечных полугрупп различная. Чтобы избежать этого, можно длинную катушку с одной стороны статора сделать короткой, с другой стороны — длинной, что, конечно, усложняет производство.

Таким образом двух- и трехплоскостные обмотки по существу являются обмотками несимметричными.

В. Шаблонные обмотки

В противоположность обмоткам с концентрическими катушками шаблонные обмотки являются симметричными, так как составляются из одинаковых катушек.

Из конструктивных соображений катушки шаблонных обмоток изготовляются в виде трапеций.

Лобовые части катушек располагаются в двух плоскостях.

Шаблонные обмотки можно разбить на следующие типы:

1) простую шаблонную обмотку, 2) шаблонную обмотку «вразвалку» и 3) цепную обмотку.

Схема простой шаблонной обмотки для одной фазы изображена на рис. 86, *в* и *в'*. Сравнивая эту схему с принципиальной схемой рис. 86, *а* и *а'*, можно заключить, что они отличаются между собой только видом катушек. Трапецоидальный вид катушек шаблонной обмотки позволяет расположить лобовые части только в двух плоскостях.

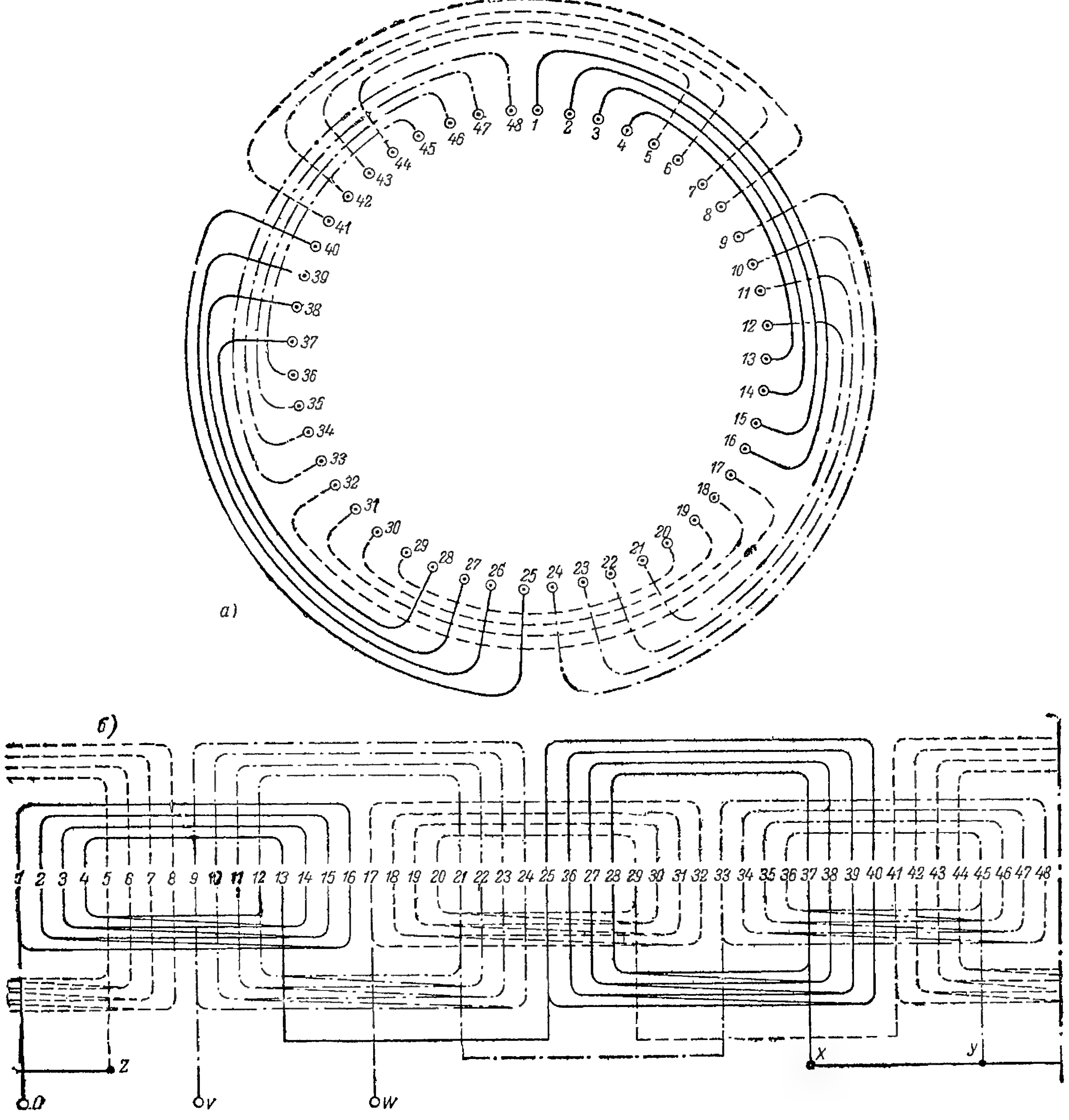


Рис. 89. Двухплоскостная концентрическая катушечная обмотка

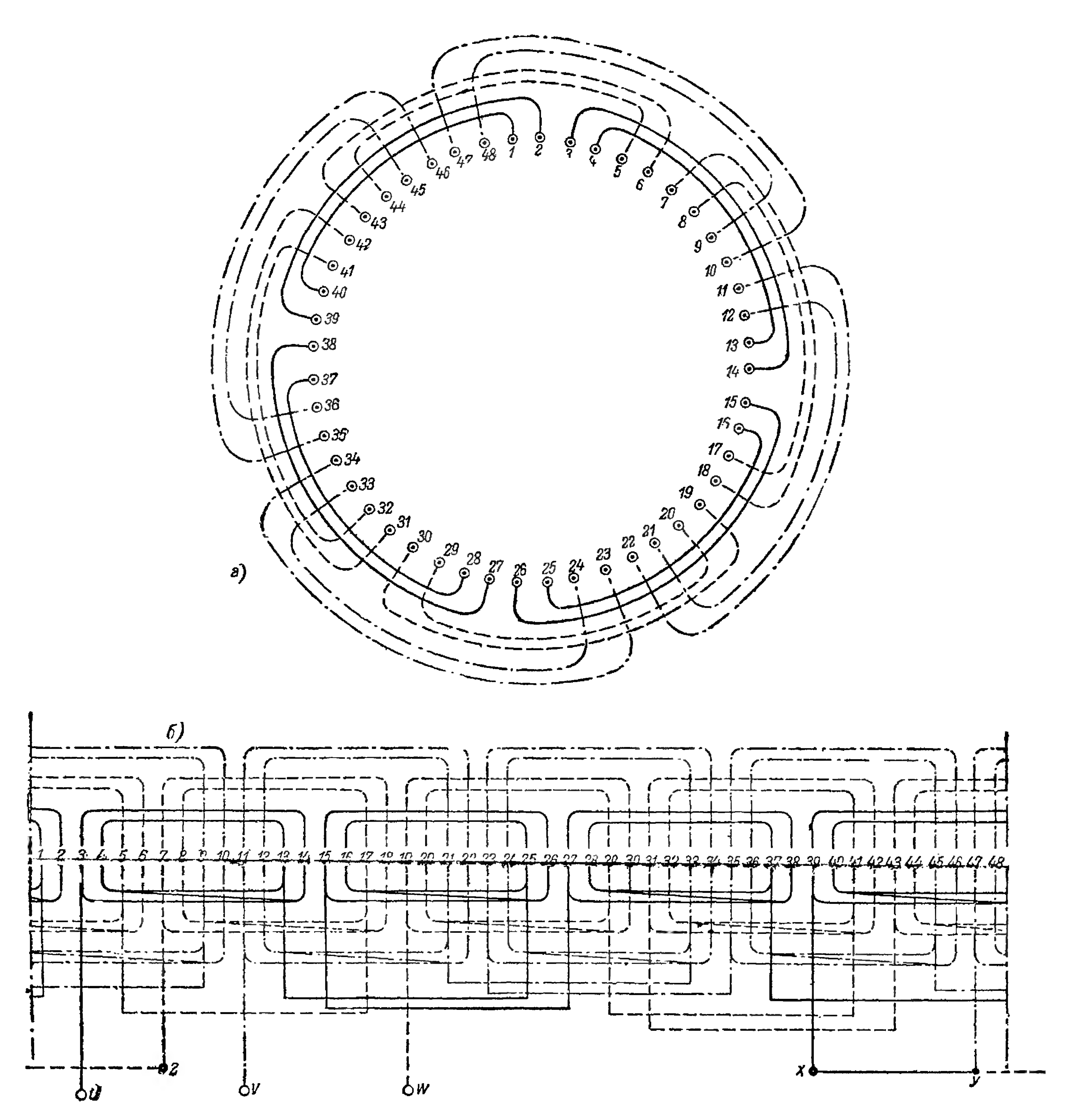


Рис. 91. Схема концентрической трехплоскостной катушечной обмотки «вразвалку».

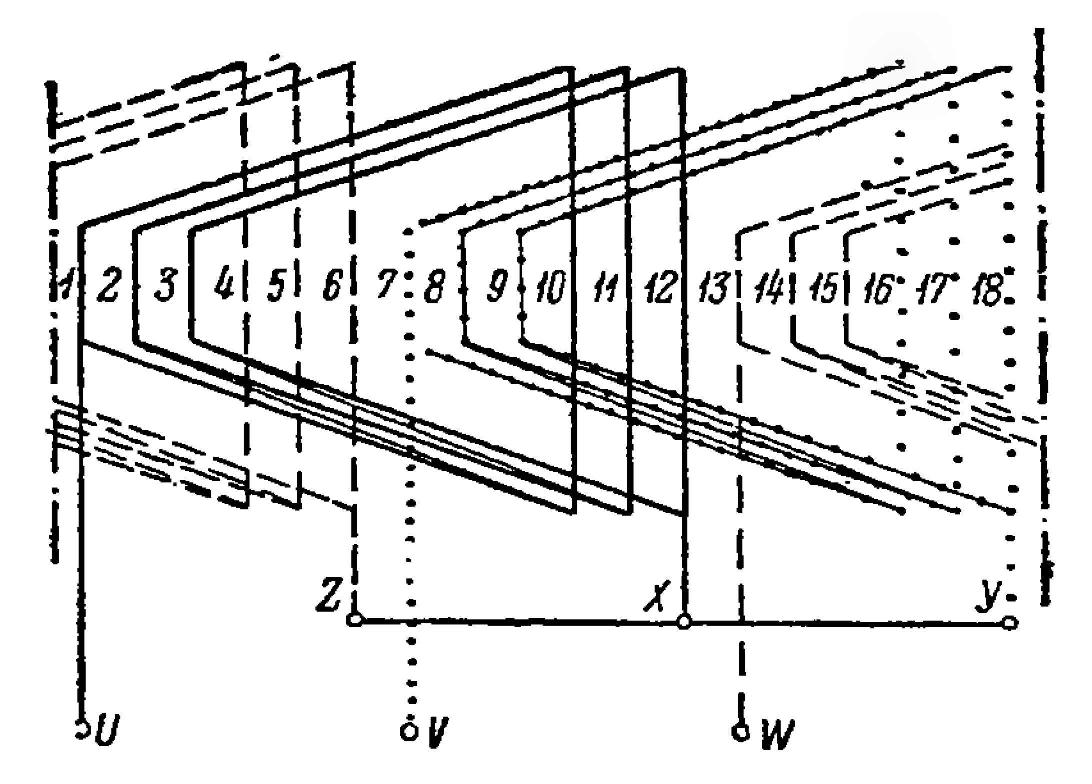


Рис. 92. Схема простой шаблонной обмотки: сопряжение звездой.

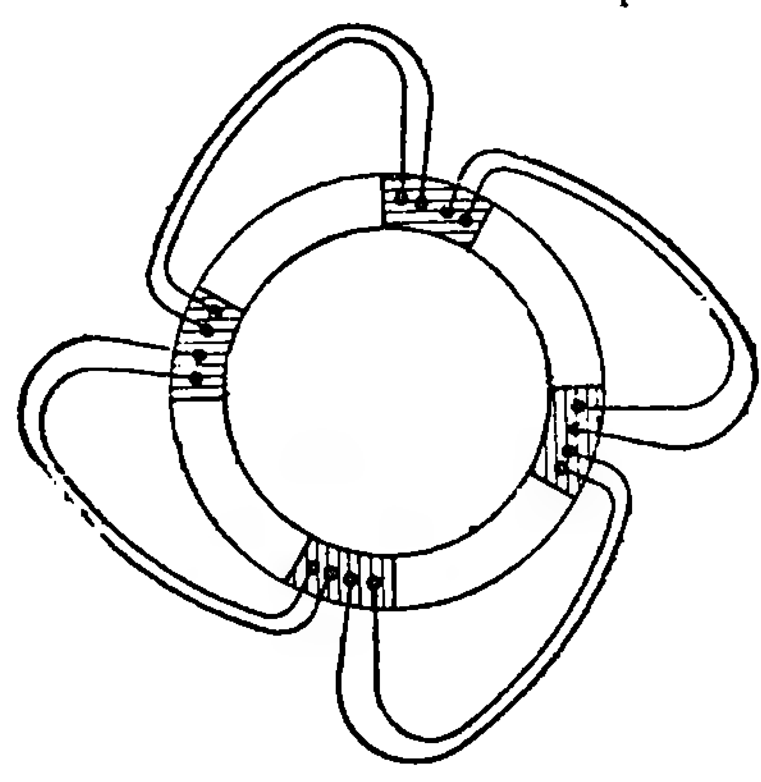


Рис. 93. Схема шаблонной обмотки «вразвалку» для одной фазы.

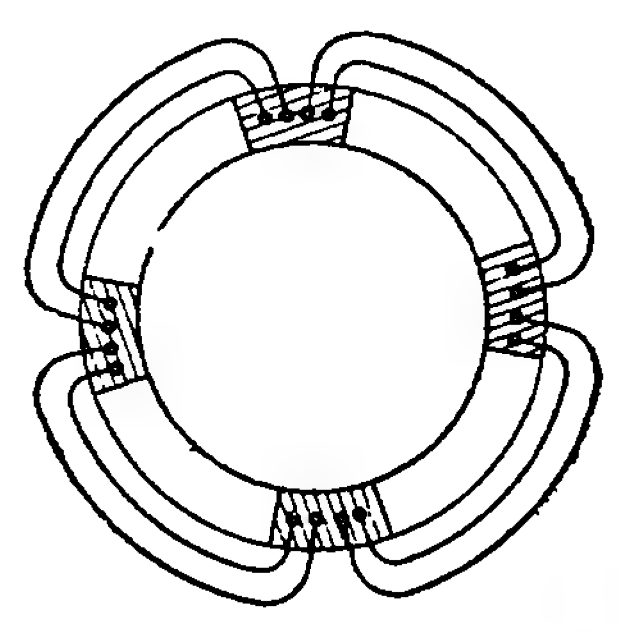


Рис. 94. Схема концентрической обмотки «вразвалку» для одной фазы.

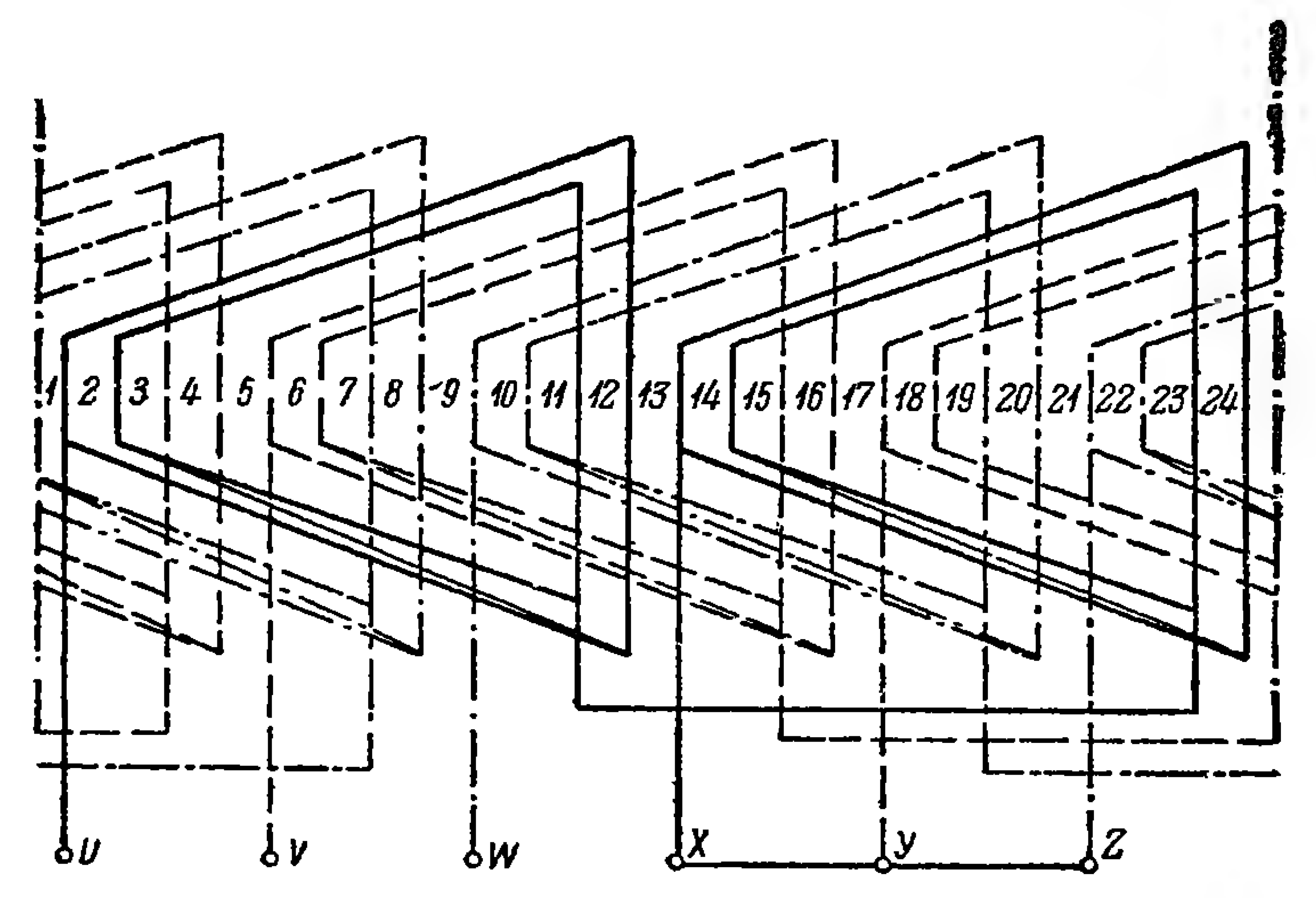


Рис. 95. Схема шаблонной обмотки «вразвалку» — $2p = 4$; $q = 4$; сопряжение фаз звездой.

На рис. 92 приведена полная развернутая схема простой шаблонной обмотки двухполюсной машины при $2p = 2$ с тремя катушками в катушечной группе. Из схемы видно, что если в какой-либо фазе условиться считать за начало короткую сторону катушки, то и для всех других фаз началом катушечных групп будет также короткая сторона катушки.

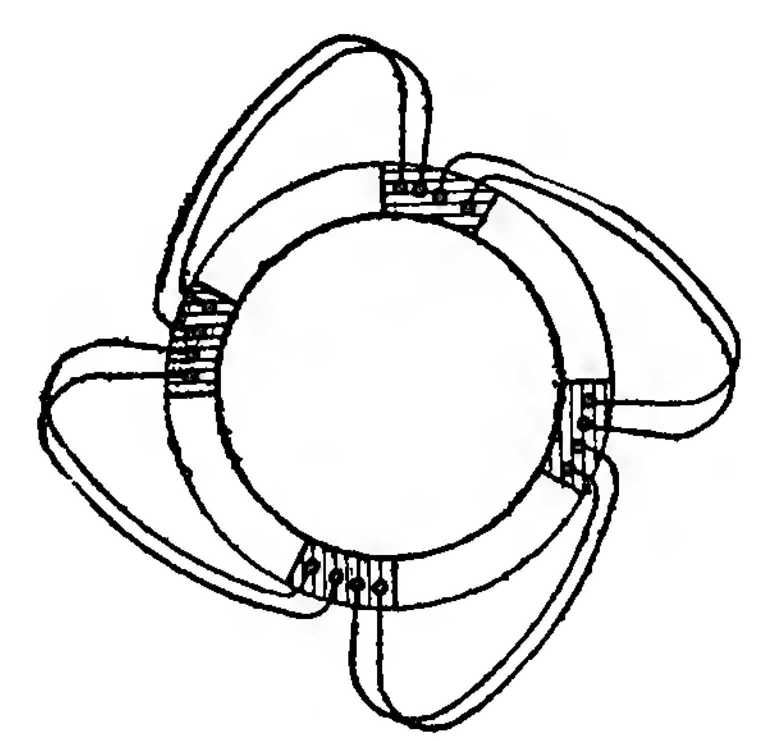


Рис. 96. Схема одной фазы шаблонной обмотки с одинаковыми катушками.

Схема шаблонной обмотки «вразвалку» для одной фазы изображена на рис. 93. Сравнивая эту схему со схемой концентрической обмотки «вразвалку» рис. 94, видим, что они отличаются между собой только формой катушечных групп.

На рис. 95 изображена схема шаблонной обмотки «вразвалку» для двухполюсной обмотки при 24-х пазах. Как показывает этот рисунок, катушки имеют все-таки неодинаковую форму. Чтобы избежать этого, применяют схемы, в которых все катушки имеют совершенно одинаковую форму.

На рис. 96 изображены катушки одной фазы. Все катушки имеют одинаковую форму и выполнены с диаметральным шагом. Полная

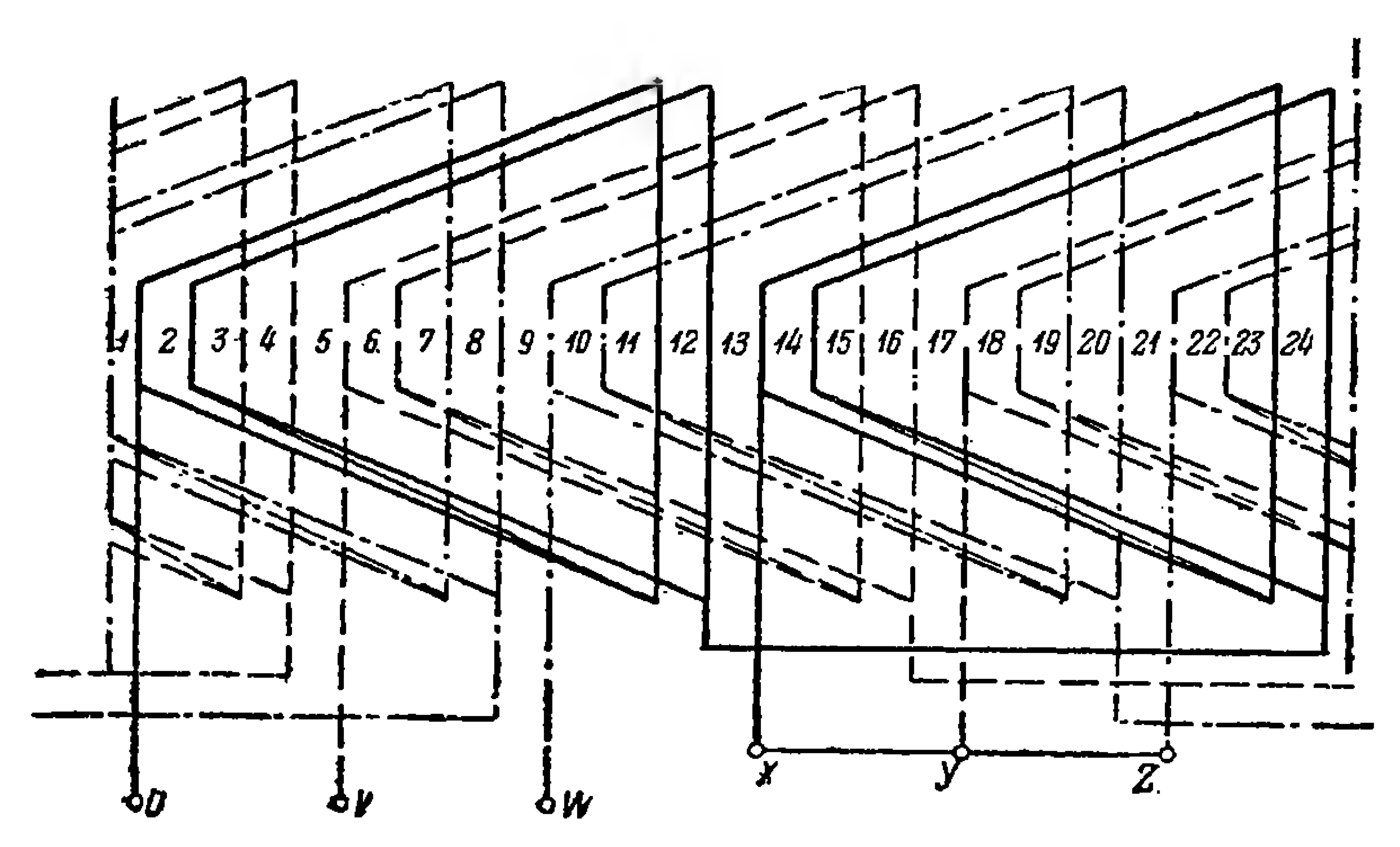


Рис. 97. Схема шаблонной обмотки «вразвалку» — $2p = 2$; $q = 4$; сопряжение фаз звездой.

развернутая схема такой обмотки изображена на рис. 97 для машины с $2p = 2$ и $q = 4$.

Цепные обмотки также выполняются «вразвалку». Отличие их от предыдущих обмоток заключается в том, что в них короткие и длинные

стороны катушек чередуются, «развалка» произведена не для полугрупп, а для каждой катушки.

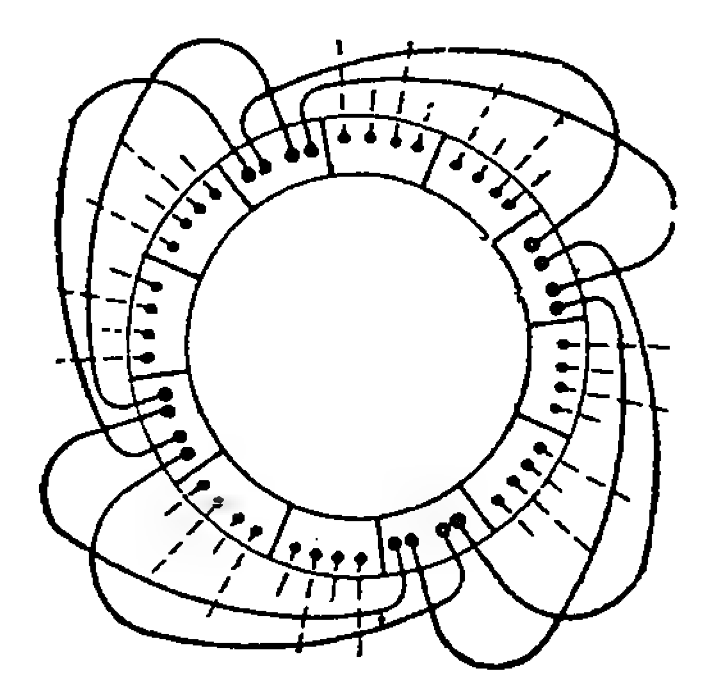


Рис. 98. Схема одной фазы цепной обмотки при четном q.

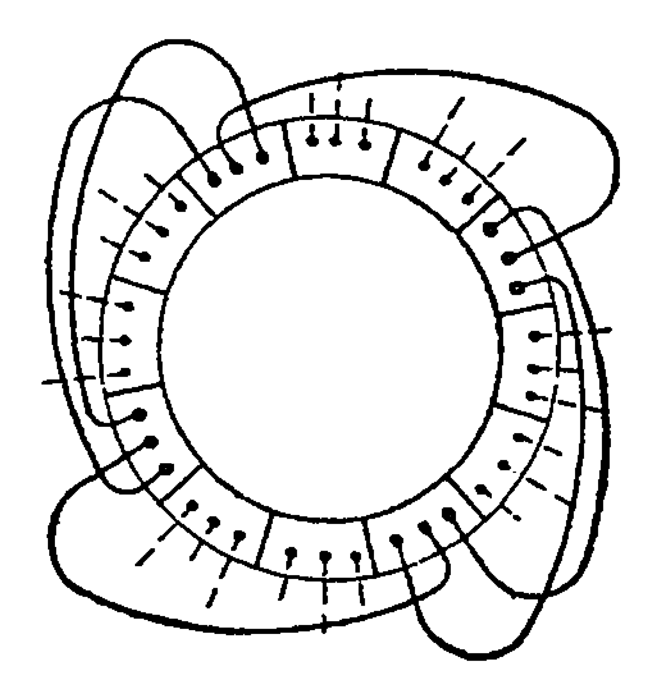


Рис. 99. Схема одной фазы цепной обмотки при нечетном q.

На рис. 98 показано выполнение цепной обмотки для одной фазы при четном и на рис. 99 — при нечетном числе пазов на полюс и фазу.

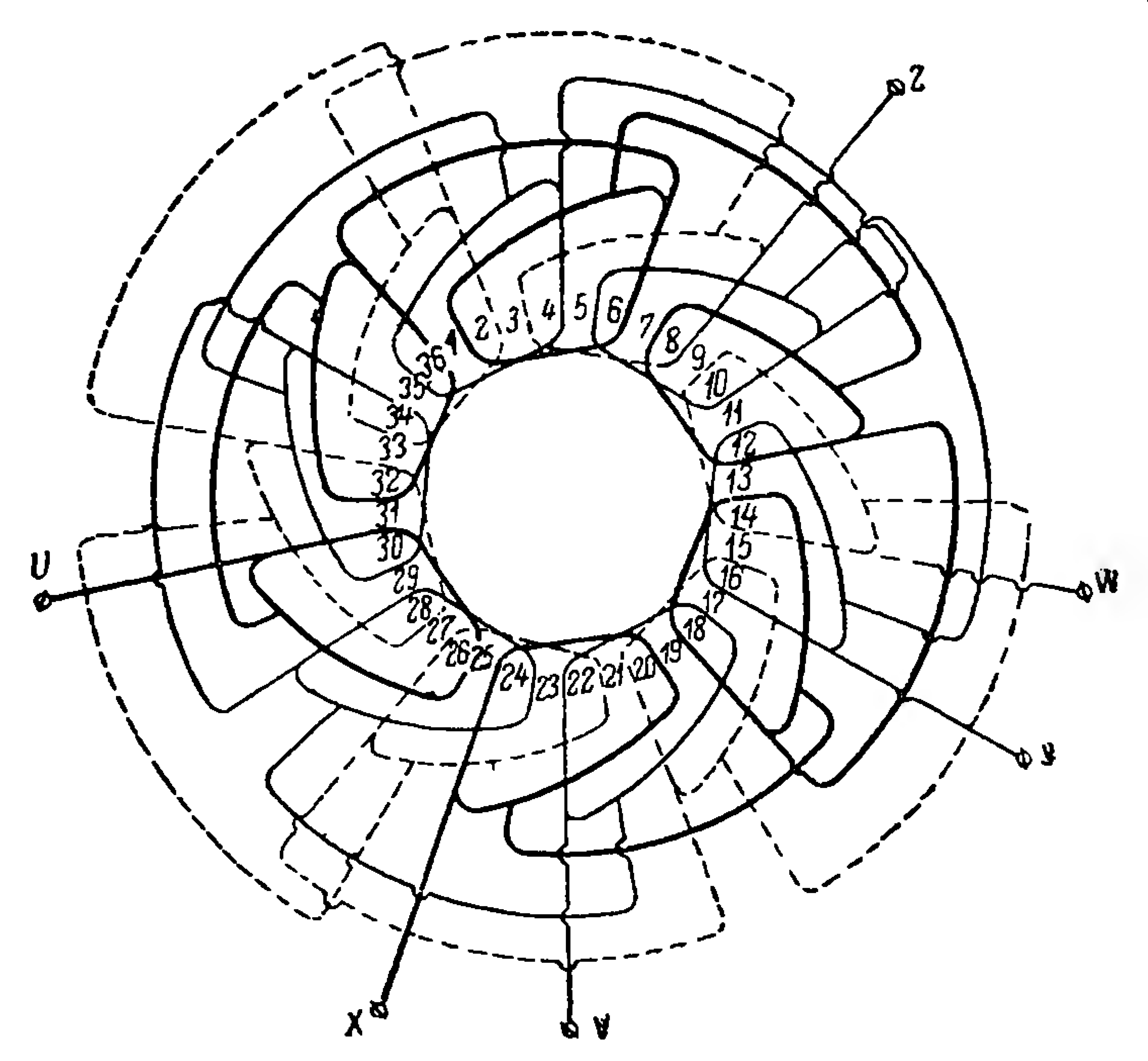


Рис. 100. Схема цепной обмотки — $2p = 6$; $Z = 36$; $q = 2$; шаг 1—6.

На рис. 100 приведена полная схема цепной обмотки для машины с $2p = 6$, $q = 2$, $Z = 36$, а на рис. 101 — для машины с $2p = 4$,

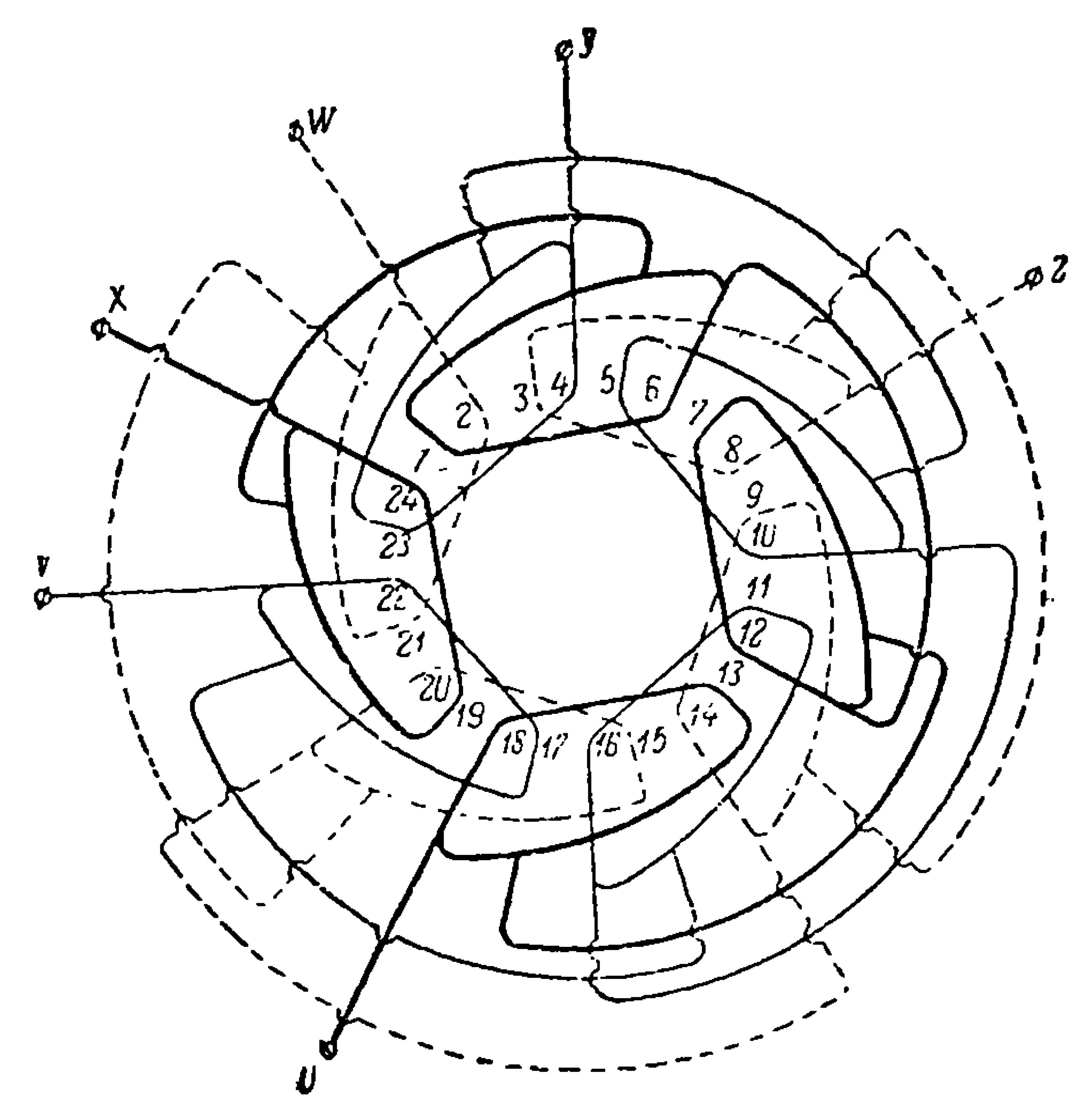


Рис. 101. Схема цепной обмотки — $2p = 4$; $Z = 24$; $q = 2$; шаг 1—6.

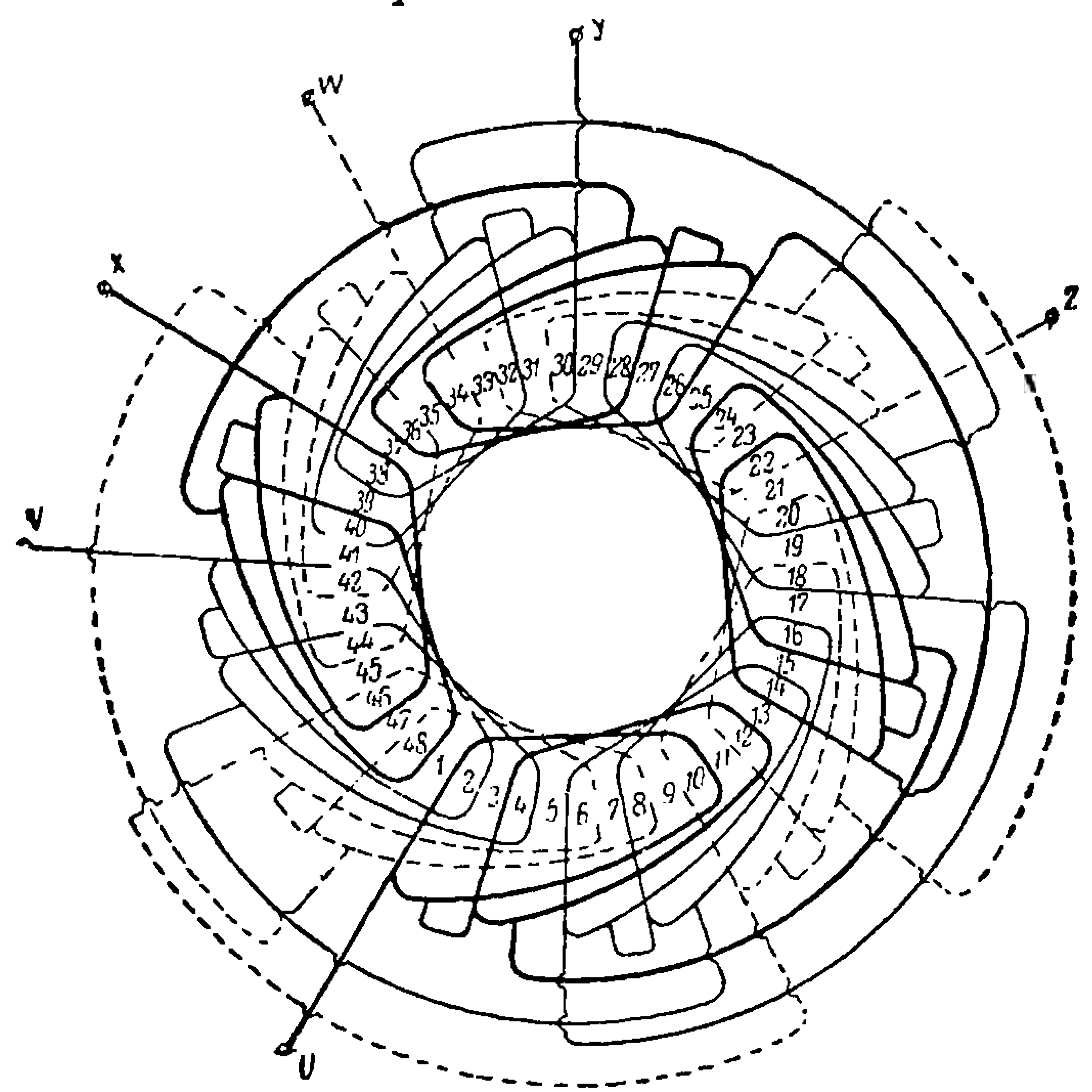


Рис. 102. Схема цепной обмотки — $2p = 4$; $Z = 48$; $q = 4$; шаг 1—10.

$q=2$, $Z=24$. Обе обмотки выполнены с укороченным шагом. Действительно, для машины рис. 100 диаметральный шаг был бы равен $\frac{Z}{2p}=\frac{36}{6}=6$, т. е. катушка должна лежать в 1-м пазу и 7-м пазу $(1+6)$, по схеме же она лежит в 1-м пазу и 6-м. Для обмотки машины рис. 101 диаметральный шаг был бы равен $\frac{Z}{2p}=\frac{24}{4}=6$, тогда как по схеме катушка имеет шаг 5. В том и другом случае

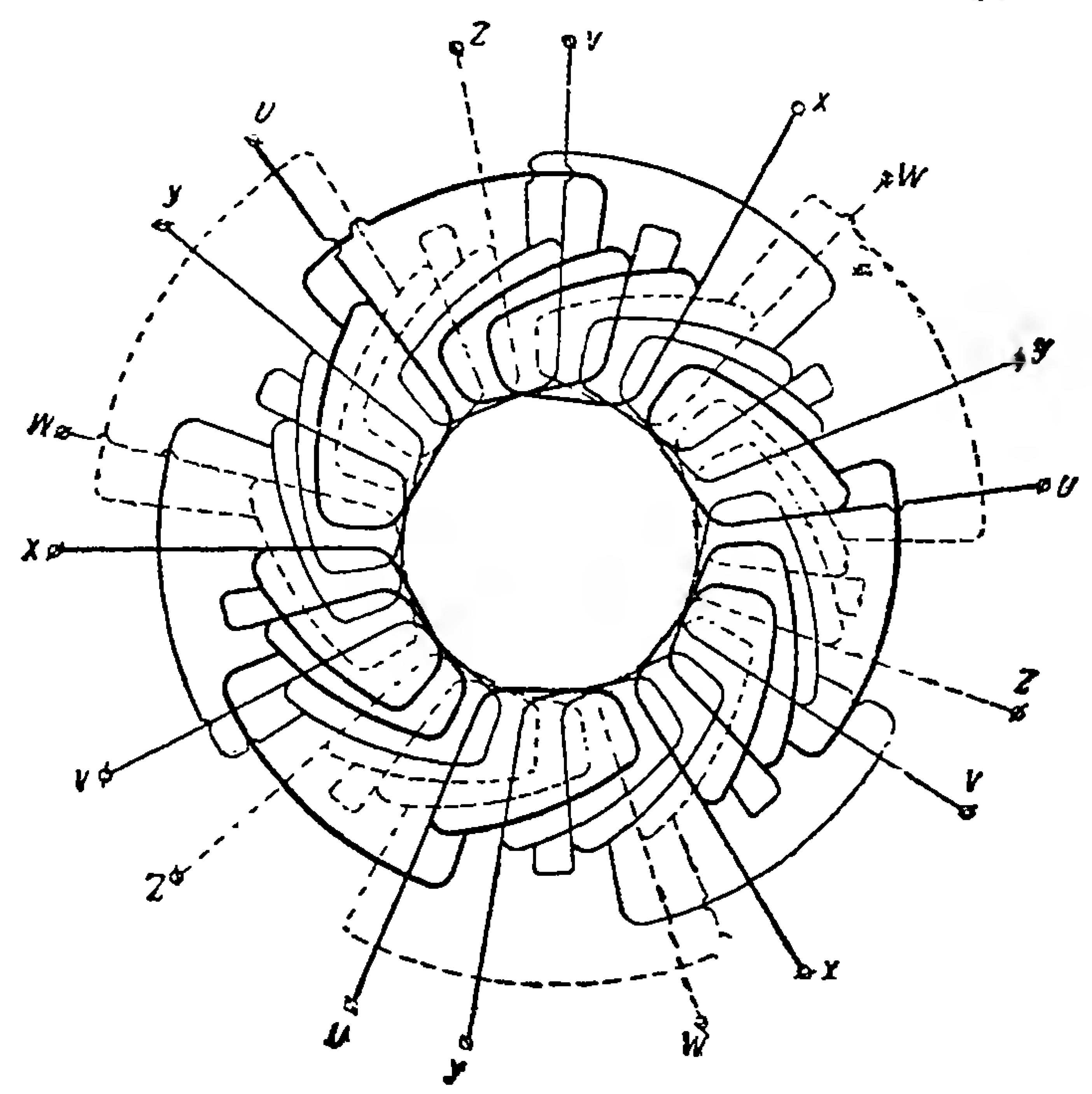


Рис. 103. Схема цепной обмотки—$2p=6$; $Z=54$; $q=3$; шаг 1—8.

укорочение шага составляет $\frac{5}{6}$, что дает экономию в меди лобовых частей.

Рассматривая схемы рис. 100 и 101, мы видим, что если короткие стороны катушек лежат в нечетных пазах 1, 3, 5 и т. д., то длинные стороны катушек лежат в четных пазах.

Так как каждая катушка состоит из короткой и длинной сторон, то катушку можно образовать только в том случае, если ее шаг, выраженный в пазах, будет равен нечетному числу. В предыдущих схемах шаг был равен 5.

Таким образом цепную обмотку можно выполнить только при нечетном шаге катушек.

Выше было выяснено, что в электрическом и магнитном отношениях обмотки с укороченным шагом катушек, но со сплошными фазными

зонами подобны обмоткам с диаметральным шагом. Поэтому обмотки, выполненные по схемам, подобным рис. 100 и 101, в основном ценны только в отношении уменьшения расхода меди.

На рис. 102 изображена полная схема обмотки с укороченным шагом и с несплошными фазными зонами при четном, а на рис. 103 при нечетном — числе пазов на полюс и фазу. Выше мы выяснили, что обмотки с нечетным q следует по возможности избегать.

Г. Однофазные однослойные обмотки

Принципиально однофазной обмоткой может служить обмотка одной фазы трехфазной обмотки. Так как в этом случае занятыми обмоткой оказываются только $\frac{1}{3}$ всех пазов, то для лучшего использования железа обычно стороны катушек располагают не на 60 эл. градусов окружности статора, а на 120. Таким образом ширина фазной зоны однофазной обмотки равняется 120 эл. градусам. В остальном образование обмотки ничем не отличается от образования обмотки одной фазы трехфазной обмотки.

6. ТРЕХФАЗНЫЕ ДВУХСЛОЙНЫЕ ОБМОТКИ СТАТОРОВ СИНХРОННЫХ И АСИНХРОННЫХ МАШИН

А. Введение

Из всех обмоток статоров машин переменного тока двухслойные обмотки получили в настоящее время наибольшее распространение.

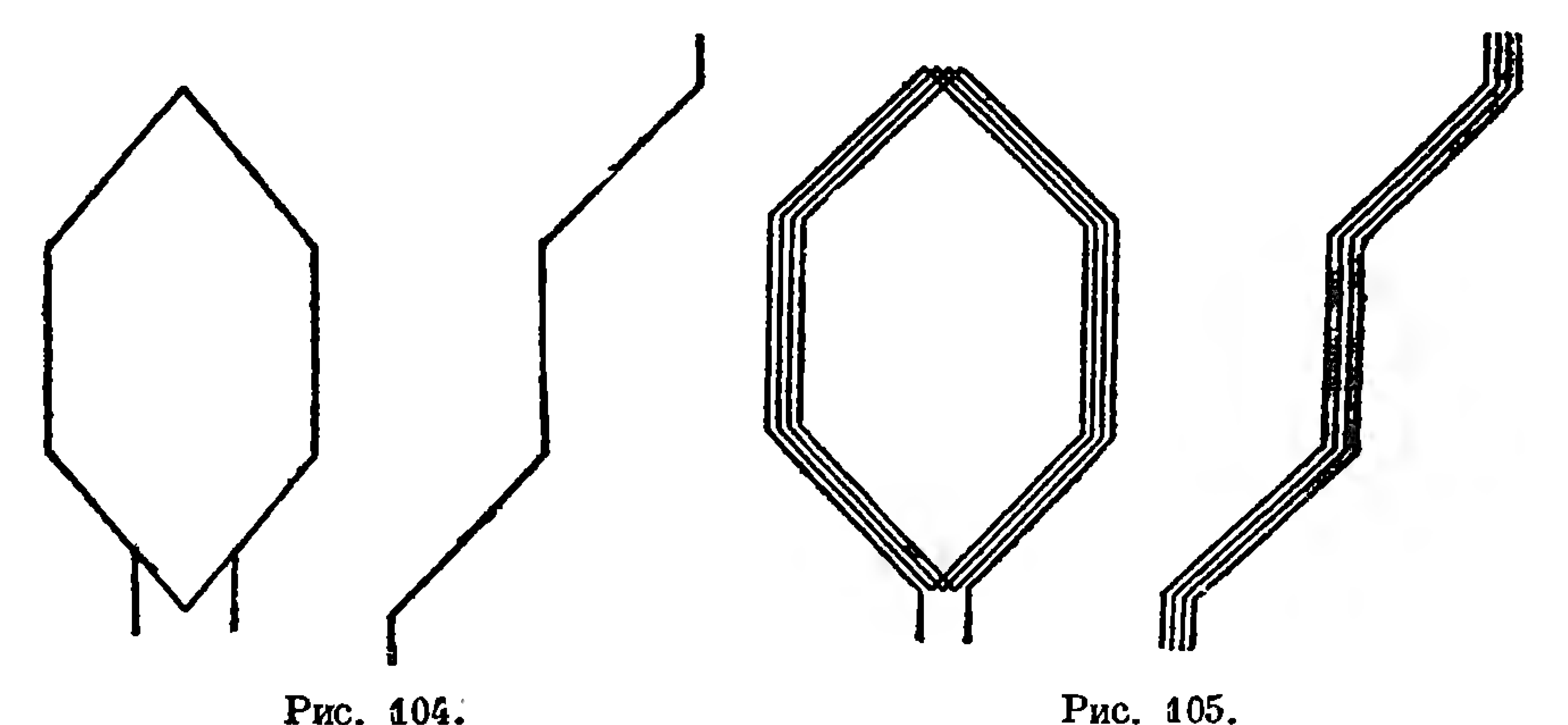


Рис. 104.
а) Катушка двухслойной петлевой обмотки. б) Полукатушка волновой стержневой обмотки.

Рис. 105.
а) Катушка из четырех витков. б) Полукатушка из четырех параллельных проводников.

На некоторых электромашиностроительных заводах СССР эти обмотки применяют для всех машин переменного тока, на других — только для машин средних и крупных мощностей, применяя для машин малых мощностей однослойные обмотки. Конечно, можно встретить и отступление от такого выполнения обмоток, но это будут единичные случаи. Такое распространение двухслойных обмоток объясняется как производ-

ственными соображениями, так и соображениями расчета машины. Прежде чем перейти к выяснению этих соображений, остановимся на описании основных элементов двухслойных обмоток и на выполнении их.

Двухслойные обмотки машин переменного тока, так же как и обмотки якорей машин постоянного тока, разделяются на 1) петлевые и 2) волновые.

В петлевых двухслойных обмотках при обходе по схеме приходится делать петли, причем петлей является катушка, такая же как и в обмотках якорей машин постоянного тока (см. рис. 104, *а*).

В волновых двухслойных обмотках при обходе по схеме приходится, перемещаясь все время вперед, делать зигзаги (волны), причем каждая полуволна представляет собой полукатушку (см. рис. 104, *б*).

Обычно катушка петлевой двухслойной обмотки имеет несколько последовательно соединенных витков; так, на рис. 105, *а* изображена катушка из четырех последовательно соединенных витков. Эти обмотки в дальнейшем будем называть двухслойными катушечными обмотками.

Полукатушка волновой двухслойной обмотки обычно состоит из нескольких проводников, соединенных между собой параллельно. На рис. 105, *б* показана полукатушка, состоящая из четырех параллельно соединенных проводников (четверной провод). Такие обмотки в дальнейшем будем называть двухслойными стержневыми обмотками.

Таким образом двухслойная катушечная обмотка, так же как и обмотка якоря машины постоянного тока, состоит из отдельных катушек, которых в машине столько, сколько пазов. Действительно, каждая катушка расположена одной стороной вверху паза (в верхнем слое), а другой — внизу паза (в нижнем слое), т. е. на всю катушку приходится по две половинки паза или один полный паз.

Элементом двухслойной стержневой обмотки является, как мы видели, полукатушка, или стержень, поэтому число стержней обмотки равно удвоенному числу пазов.

Если через Z обозначить число пазов, то: при двухслойной катушечной обмотке число катушек $= Z$, при двухслойной стержневой обмотке число стержней $= 2Z$.

Производственные соображения, приведшие к широкому распространению двухслойных обмоток в практике электромашиностроительных заводов, заключаются в том, что эти обмотки позволяют упростить и удешевить процесс изготовления и укладки катушек.

Действительно, для изготовления этих обмоток необходимо сначала изготовить катушки, или стержни, в количестве, указанном выше. Так как все катушки (стержни) между собой одинаковы (однотипны), то изготовление их носит массовый характер, позволяющий механизировать процесс.

Что касается укладки обмотки в пазы, то и в этом отношении двухслойные обмотки имеют преимущества, так как в этих обмотках имеется большая возможность применять по расчетным соображениям открытые пазы, что позволяет ограничиться простой вкладкой катушки в пазы и упрощает производство.

Особенно же большой толчок к распространению этих обмоток сделало применение дробных обмоток, т. е. обмоток с дробным числом пазов на полюс и фазу. В производственном отношении двухслойные обмотки позволяют использовать один и тот же штамп железа статора или ротора на разное число полюсов, что в значительной мере упрощает штамповочное хозяйство завода.

Б. Двухслойные обмотки с диаметральным шагом

Как и в однослойных обмотках, фазная зона двухслойных обмоток занимает на статоре 60 эл. градусов. Возьмем для примера двухполюсную машину и рассмотрим выполнение двухслойной обмотки. На рис. 106 верхний пояс обозначает верхние стороны катушек, а нижний — нижние. Разобьем статор на шесть равных сегментов, центральный угол которых будет при этом равен 60 эл. градусов.

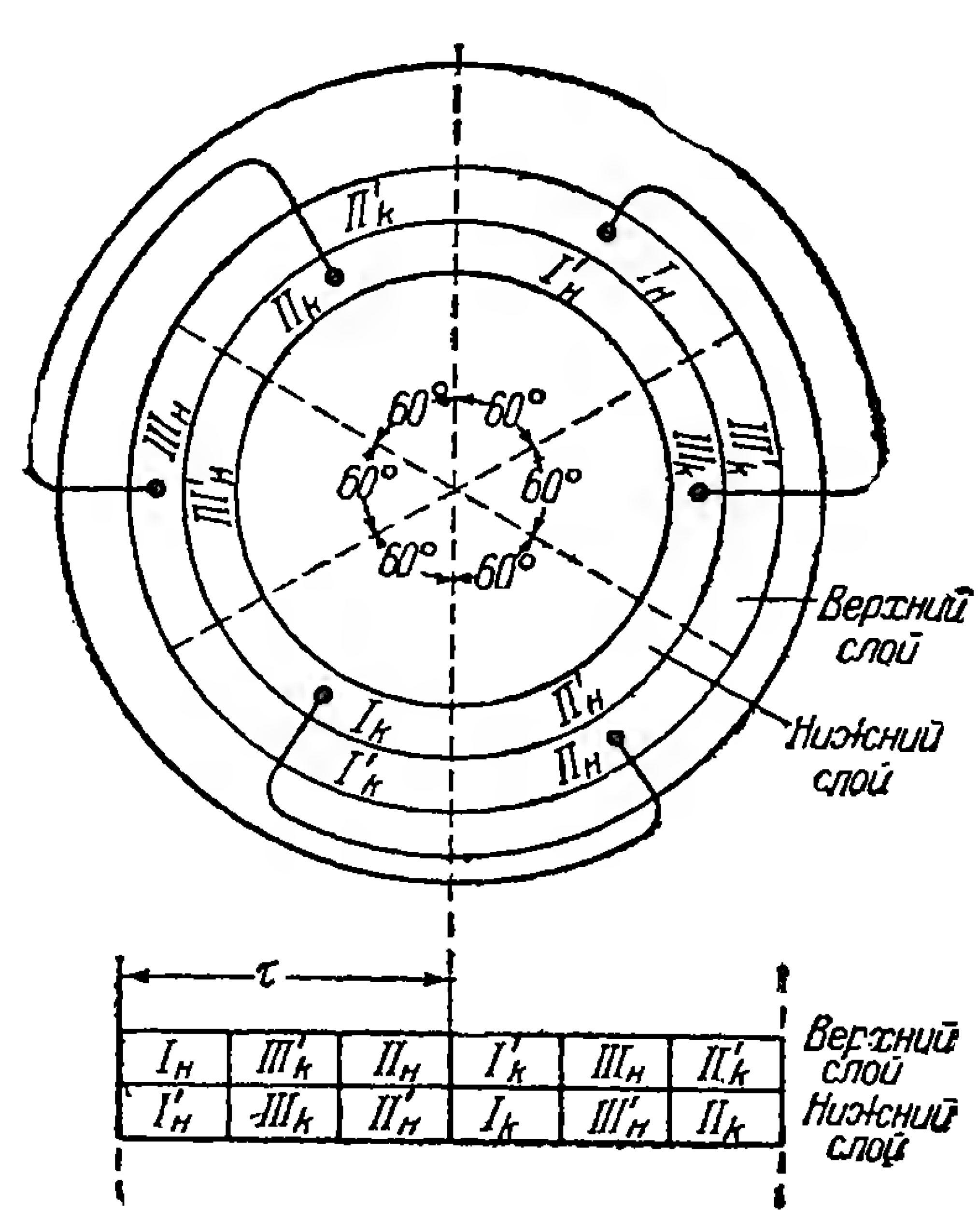


Рис. 106. Расположение сторон катушек двухслойной обмотки с диаметральным шагом.

Заложим верхние стороны катушек на участке $I_{н}$, тогда при диаметральном шаге катушек нижние стороны катушек займут участок $I_{к}$, который расположен от участка $I_{н}$ на расстоянии полюсного деления τ. Укладывая таким образом катушки, мы получаем катушечную группу фазы I. Катушечная группа фазы II должна быть расположена со сдвигом на $\frac{2}{3}\tau$ (см. рис. 61). Поэтому, располагая верхние стороны катушек на участке $II_{н}$, а нижние на участке $II_{к}$, получим катушечную группу фазы II; катушечная группа фазы III должна быть расположена со сдвигом на $\frac{2}{3}\tau$ от катушечной группы фазы II и на $\frac{4}{3}\tau$ от катушечной группы фазы I. Располагая верхние стороны катушек на участке $III_{н}$, а нижние — на участке $III_{к}$, получим катушечную группу фазы III.

Из рис. 106 видно, что если в фазе взять по одной катушечной группе, то пазы статора заполнятся только наполовину. Это вполне понятно, так как в двухслойной обмотке сторона катушки занимает только половину паза. Для того чтобы пазы статора были использованы полностью, очевидно нужно число катушечных групп в фазе увели-

чить в два раза и этим самым целиком заполнить пазы. Для лучшего использования магнитного потока вторые катушечные группы мы должны, очевидно, расположить по пазам таким образом, чтобы катушки катушечных групп одной и той же фазы (при двухполюсной машине) лежали в одних и тех же пазах.

В этом случае э. д. с. катушечных групп фазы будут совпадать по фазе, так же как и м. д. с. их будут действовать согласно.

Фазные участки, где лежат катушки вторых катушечных групп, обозначены на рис. 106 через $I'_н$, $I'_к$, $II'_н$, $II'_к$, $III'_н$, $III'_к$. Теперь возникает вопрос, на каких из этих участков будут начала и на каких концы?

Стороны катушек вторых катушечных групп располагаются в тех же пазах, где расположены стороны катушек первых катушечных групп.

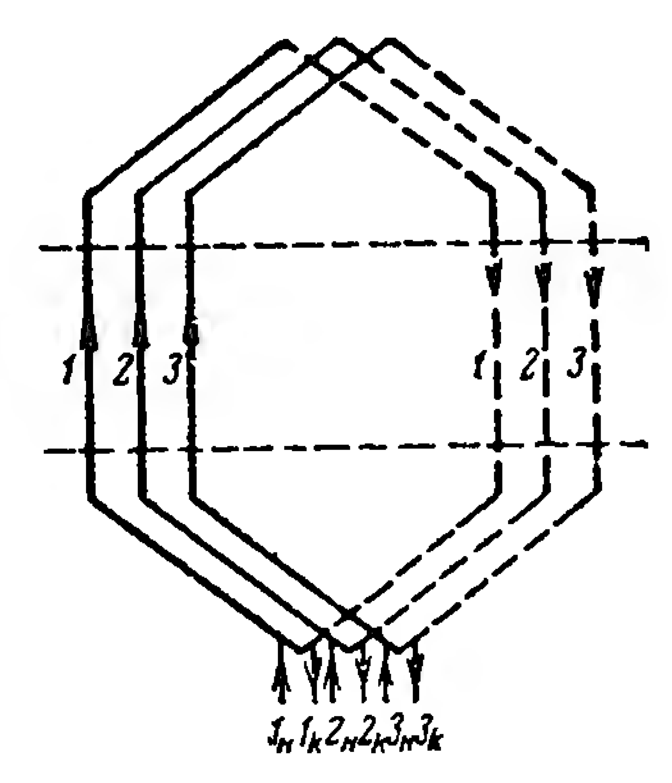


Рис. 107. Несоединенная катушечная группа.

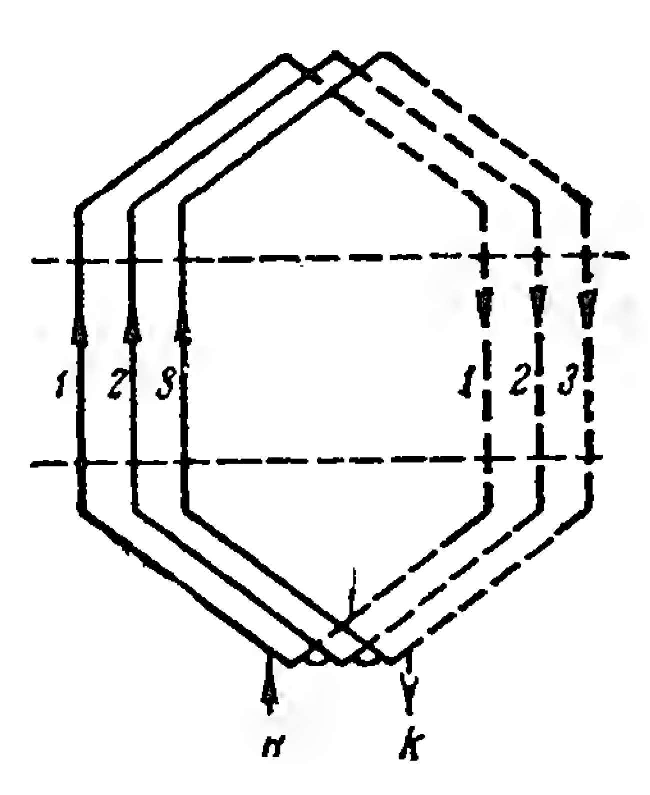


Рис. 108. Соединенная катушечная группа.

Поэтому, если, например, на участке $I_н$ условились считать стороны катушек за начало, то и стороны катушек второй катушечной группы ($I'_н$), лежащей на этом же сегменте статора, также будут началами.

Поступая таким же образом для всех остальных сторон катушек вторых катушечных групп, получим распределение сторон катушечных групп, которое указано на рис. 106. Это распределение отличается от распределения фазных участков однослойных обмоток со сплошными фазными зонами только тем, что число катушечных групп увеличилось в два раза. Поэтому двухслойные обмотки с диаметральным шагом катушек в электрическом и магнитном отношениях ничем не отличаются от однослойных обмоток со сплошными фазными зонами.

Предположим, что каждая катушечная группа имеет по три катушки, которые обычно соединяются между собой последовательно. Так как катушка обычно имеет несколько последовательно соединенных витков, то катушку изображаем в виде замкнутого витка с двумя концами (рис. 107). Верхние концы (лежащие вверху паза) назовем началами $1_н$, $2_н$ и $3_н$, а нижние (лежащие внизу паза) — концами $1_к$, $2_к$ и $3_к$.

Из рис. 107 нетрудно убедиться, что для того, чтобы соединить катушки последовательно, нужно $1_к$ соединить с $2_н$, $2_к$ — с $3_н$. Соединенные таким образом катушки образуют катушечную группу (рис. 108).

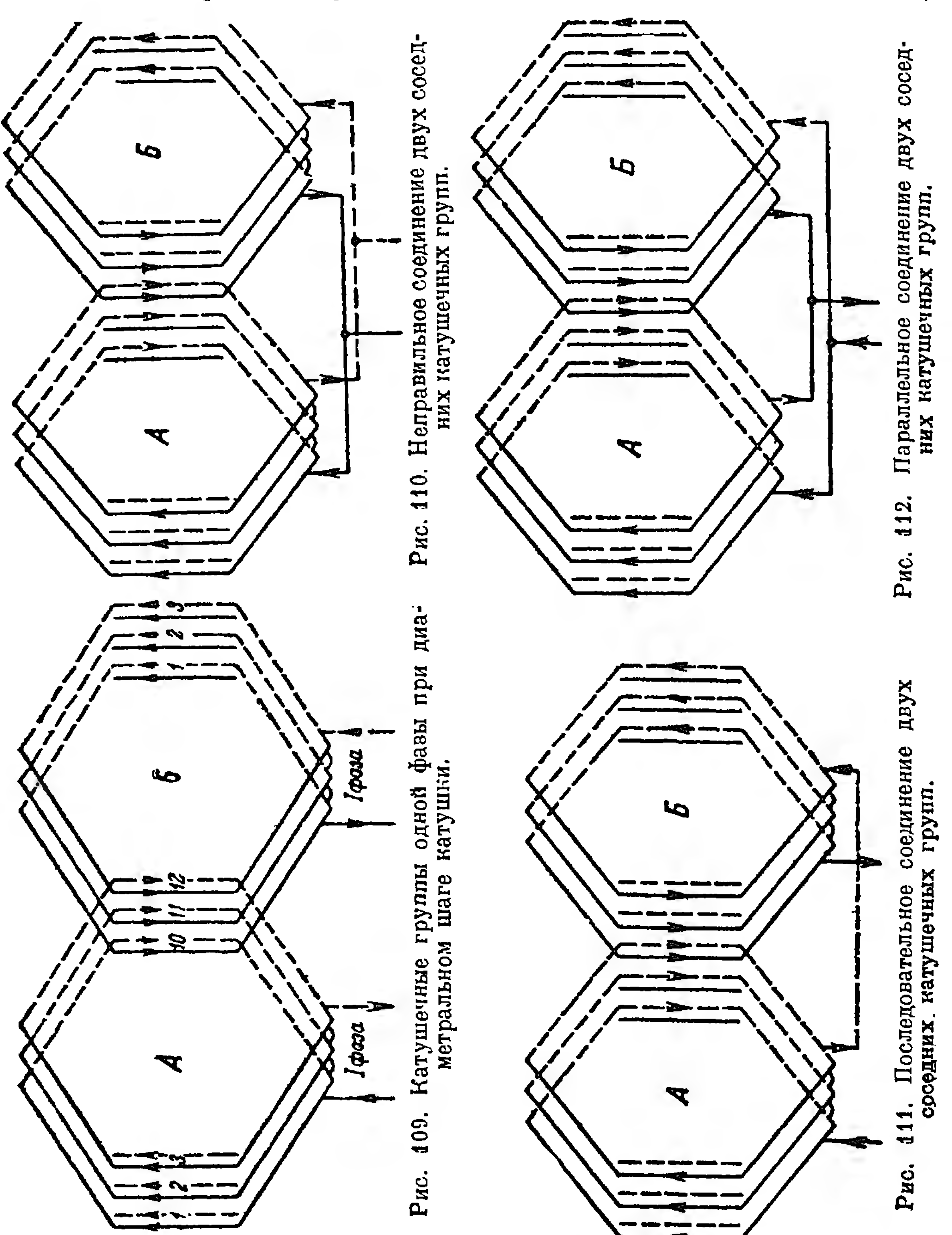


Рис. 109. Катушечные группы одной фазы при диаметральном шаге катушки.

Рис. 110. Неправильное соединение двух соседних катушечных групп.

Рис. 111. Последовательное соединение двух соседних катушечных групп.

Рис. 112. Параллельное соединение двух соседних катушечных групп.

Рассмотрим теперь, как нужно соединять между собой катушечные группы одной фазы. Обозначим через *А* катушечную группу, которая лежит на участках $I_н$—$I_к$ (рис. 106), а через *Б* — катушечную группу, которая лежит на участках $I'_н$ — $I'_к$.

Будем считать, что каждая катушечная группа состоит из трех катушек. Обозначим пазы участка $I_н$ через *1*, *2*, *3*, тогда при диаметральном шаге катушек номера пазов участка $I_к$ будут *10*, *11* и *12*. Расположение катушечных групп *А* и *Б* изображено на рис. 109.

Предположим, что в рассматриваемый момент времени э. д. с. в сторонах пазов *1*, *2* и *3* имеет обозначенное на рис. 109 направление. Допустим, что ток совпадает по фазе с э. д. с., тогда для катушечной группы *А* ток будет входить в верхние проводники, а выходить из нижних. Для катушечной группы *Б* получим наоборот: ток будет входить в нижние проводники, а выходить из верхних проводников. Поэтому, если мы соединим между собой два верхних проводника пазов *1* и *10*, а потом два нижних — пазов *12* и *3* (рис. 109), то на зажимах двух катушечных групп напряжение будет равно нулю, так как катушечные группы оказываются включенными навстречу друг другу. Такое неправильное соединение показано на рис. 110.

На рис. 111 и 112 показано последовательное и параллельное соединение катушечных групп *А* и *Б*. Более подробно о соединении катушечных групп будет сказано ниже.

В. Двухслойные обмотки с укороченным шагом

Как видели выше, двухслойные обмотки с диаметральным шагом в электрическом и магнитном отношениях ничем не отличаются от однослойных обмоток со сплошными фазными зонами. При несинусоидальном распределении магнитного потока э. д. с. будет также несинусоидальной. Результирующая кривая м. д. с. будет значительно отличаться от синусоидальной кривой, вследствие чего и магнитный поток, создаваемый обмоткой, будет несинусоидальным. Исходя из этого, в практике электромашиностроительных заводов двухслойная обмотка с диаметральным шагом почти совсем не применяется. Наоборот, двухслойные обмотки с укороченным шагом получили большое распространение. То обстоятельство, что двухслойные обмотки позволяют легко получать почти любое укорочение шага, и явилось причиной широкого применения двухслойных обмоток.

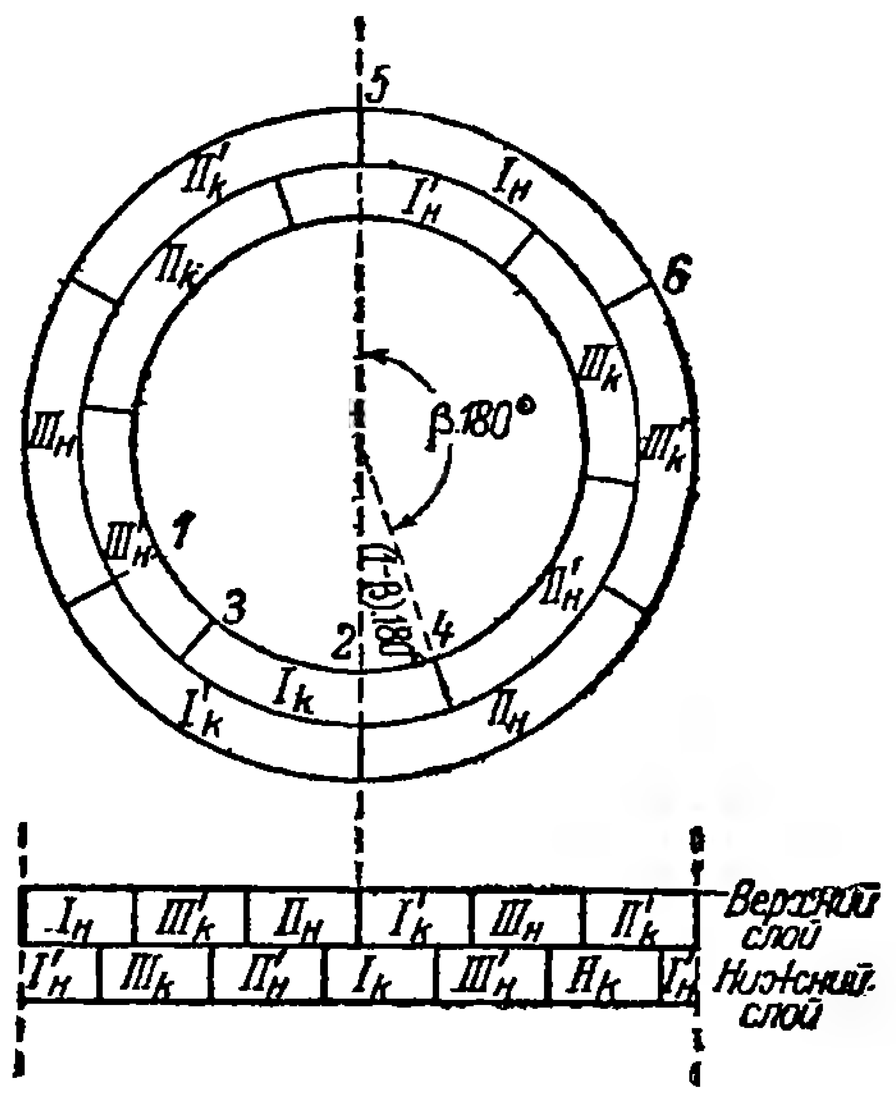


Рис. 113. Распределение фазных участков двухслойной обмотки с укороченным шагом.

На рис. 113 указано распределение фазных участков при укороченном шаге катушек. Если рис. 113 сравним с рис. 106, то увидим, что схема обмотки с укороченным шагом отличается от схемы обмотки

с диаметральным шагом только тем, что внутренний слой повернулся на некоторый угол относительно внешнего слоя. Угол поворота зависит от выбранного укорочения шага.

Предположим, что верхние стороны одной катушечной группы лежат на участке $I_н$ между точками *5* и *6*. При диаметральном шаге нижние стороны той же катушечной группы расположатся между точками *1* и *2*, в то время как при укороченном шаге они расположатся ближе к участку *5—6* между точками *3* и *4*, т. е. точка *2* перейдет в

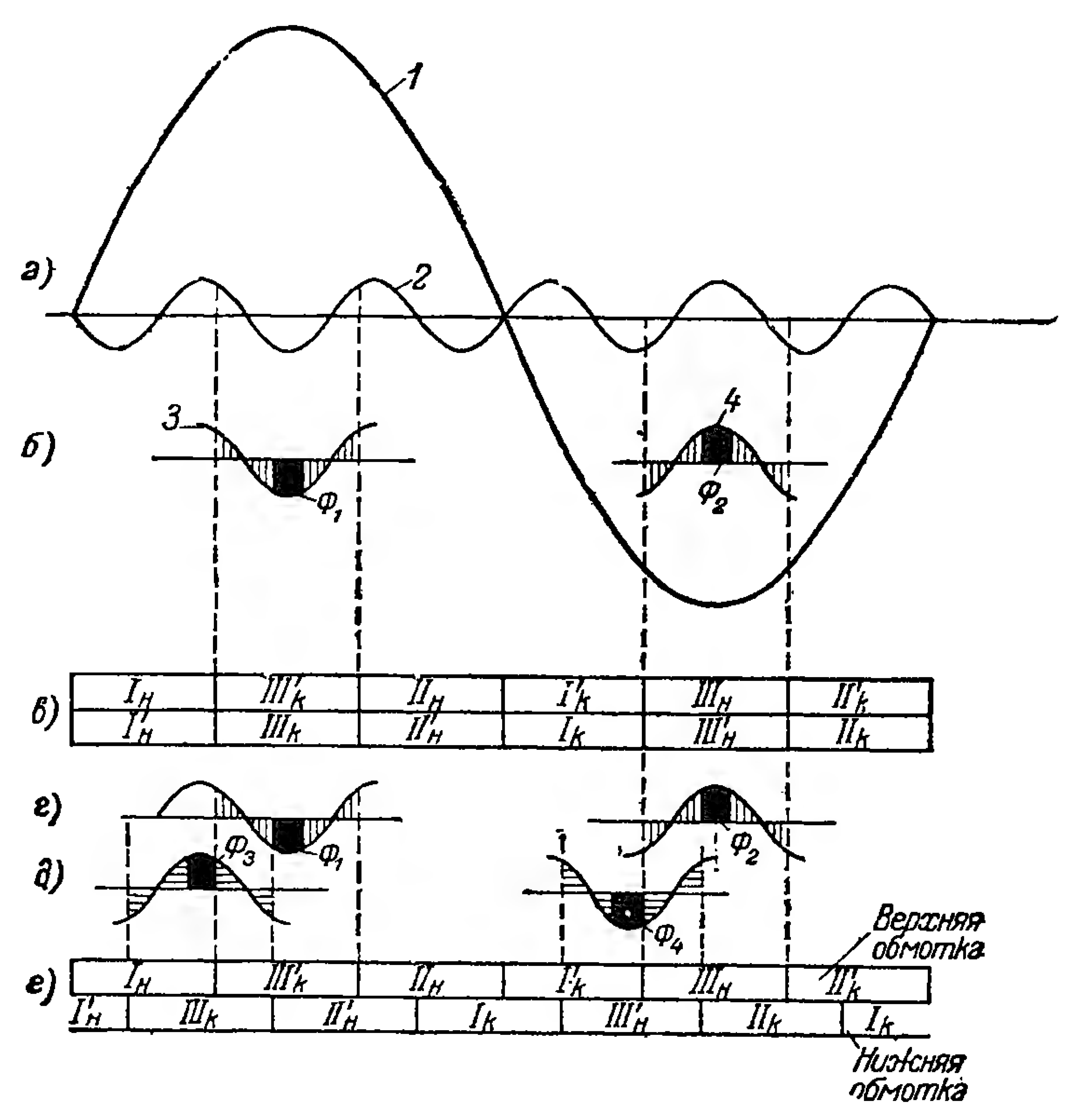


Рис. 114. Расположение в кривой поля двухслойной обмотки с диаметральным и укороченным шагом.

точку *4*, а точка *1* в точку *3*. При диаметральном шаге катушки между точками *5* и *2* было 180 эл. градусов, а при укороченном шаге угол между точками *5* и *4* становится меньше 180 эл. градусов. Обозначим этот угол через $\beta \cdot 180$ эл. градусов, а ширину катушки через b, тогда $\beta = \frac{b}{\tau}$ называется укорочением шага.

Если рассмотреть только один слой на схемах рис. 106 и 113, то увидим, что они ничем не отличаются от схемы рис. 61. Другими словами, двухслойная обмотка представляет собой две однослойные обмотки со сплошными фазными зонами, расположенные в одном статоре. При диаметральном шаге катушек эти две обмотки распола-

гаются одна над другой без всякого сдвига по отношению к кривой поля, а при укороченном шаге катушек обмотки располагаются в разных точках кривой поля.

На рис. 114, *а* изображена основная синусоида кривой поля — кривая *1* и синусоида с шагом $\frac{\tau}{5}$ — кривая *2*. На рис. 114, *в* показана развернутая схема с диаметральным шагом катушек, а на рис. 114, *е* — с укороченным шагом.

Рассмотрим расположение фазы *III* по отношению к кривой *2*. При диаметральном шаге катушек стороны катушек занимают в данный момент времени положение, указанное на рис. 114, *б*.

Мы видим, что участки кривых *3* и *4* совершенно одинаковы и сдвинуты относительно друг друга на 180 эл. градусов. Кроме того, из этих кривых видно, что ввиду того, что ширина фазной зоны больше $\frac{\tau}{5}$, т. е. больше шага кривой *2*, на фазную зону приходится больше одного полюса. Это приводит к тому, что э. д. с. в сторонах катушек будет индуктироваться различного направления. Результирующая э. д. с. сторон очевидно будет пропорциональна потоку, который мы получим, вычитая поток одной полярности из потока другой полярности. На рис. 114, *б* этот поток зачернен и обозначен через Φ_1 и Φ_2.

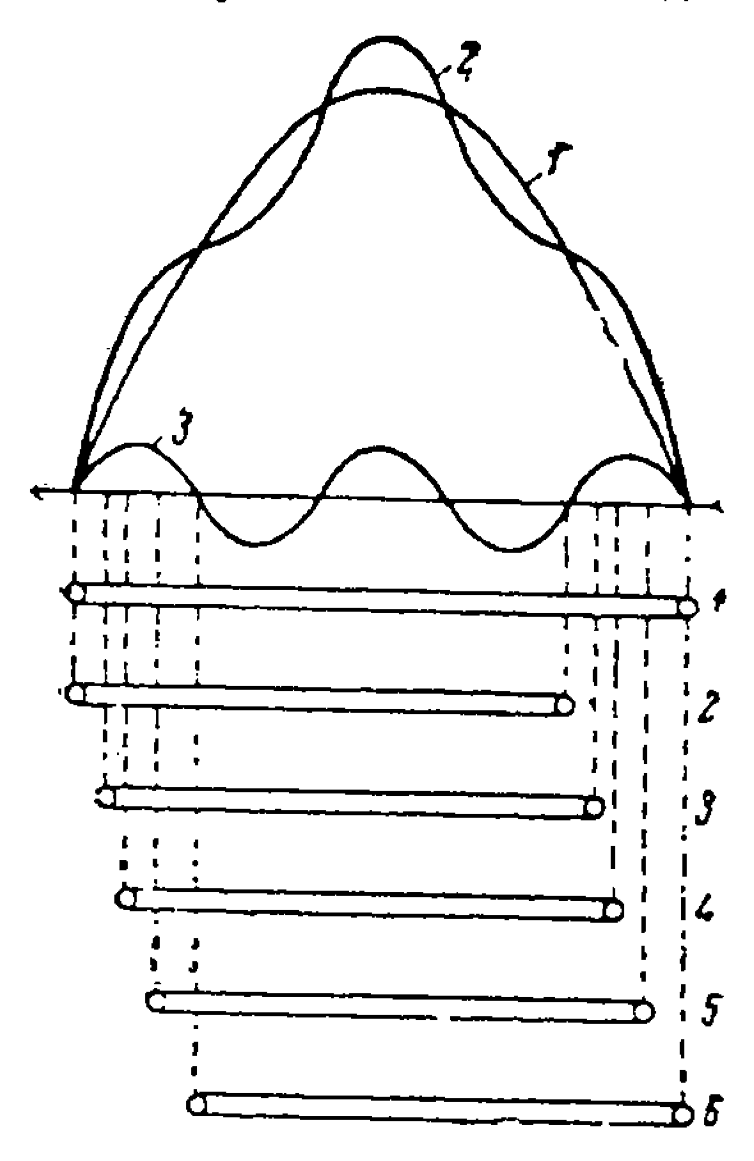


Рис. 115. Влияние укорочения шага катушки на кривую напряжения.

Так как Φ_1 и Φ_2 равны и имеют различную полярность, то результирующая э. д. с. катушечных групп будет равна сумме результирующих э. д. с. сторон, так как стороны соединены согласно.

При укороченном шаге (рис. 114, *е*) верхняя обмотка располагается точно так же, как и вся обмотка при диаметральном шаге катушек (рис. 114, *в*), а поэтому потоки Φ_1 и Φ_2 остаются теми же по величине и полярности. Нижняя обмотка оказывается сдвинутой, причем при подобранном укорочении шага потоки Φ_3 и Φ_4 (рис. 114, *д*) равны между собой, и равны Φ_1 и Φ_2 (рис. 114, *г*). Так как потоки Φ_1 и Φ_4, а также Φ_2 и Φ_3 однополярны, то при согласном соединении сторон катушечной группы результирующая э. д. с. будет равна нулю. Это приводит к тому, что при наличии несинусоидального магнитного потока э. д. с. будет синусоидальна.

Тот же результат мы получим, если будем рассматривать индуктирование э. д. с. несинусоидальным магнитным потоком в одной катушке.

Предположим, что магнитный поток распределен в воздушном зазоре машины не по синусоиде *1*, а по кривой *2* (рис. 115), причем пусть кривая *3* будет разностью кривых *2* и *1*. Тогда, если бы катушка

имела диаметральный шаг, т. е. ее ширина равнялась бы полюсному шагу, кривая напряжения на зажимах катушки была бы аналогична кривой 2. Если теперь взять катушку с укороченным шагом $\beta = \frac{4}{5}$, то по рис. 115 можно проследить, что при любом расположении катушки (положения 2, 3, 4, 5 и 6) магнитный поток, изображенный кривой 3, не наводит в катушке никакой э. д. с.

Действительно, в любом положении катушки магнитный поток (кривая 3), пронизывающий ее, равен нулю.

Таким образом применением укороченного шага катушки мы достигаем того, что при несинусоидальном распределении магнитного потока кривая напряжения получается синусоидальной.

На рис. 115 мы рассмотрели только частный случай, а именно тот случай, когда кривую действительного распределения магнитного потока можно заменить двумя синусоидальными кривыми — кривой 1 и кривой 3.

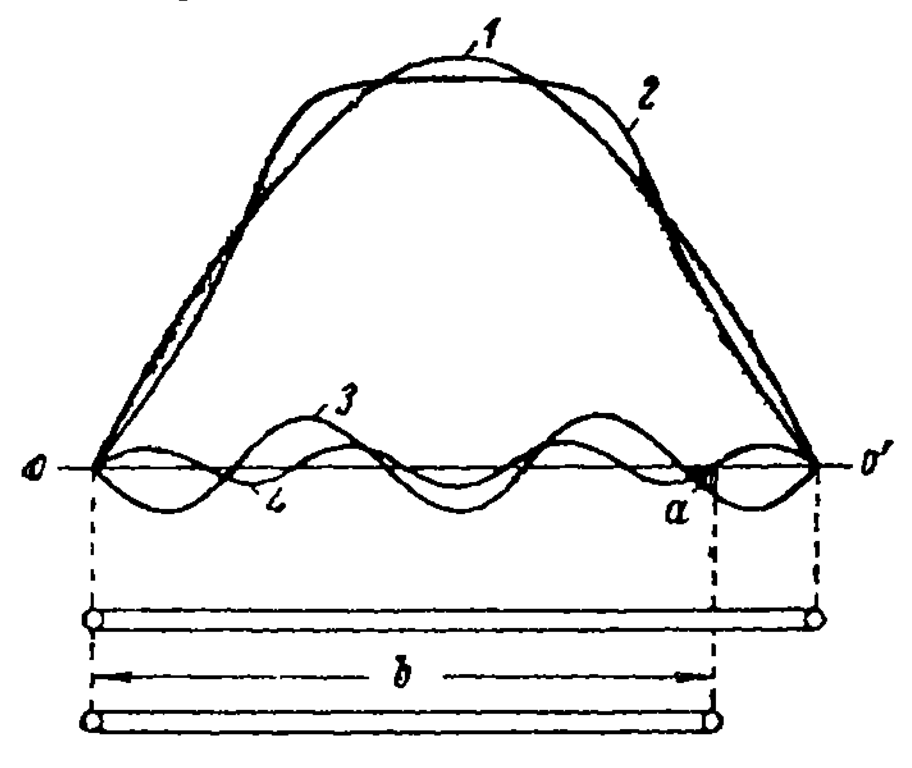


Рис. 116. Влияние укорочения шага катушки на кривую напряжения.

Чаще в машинах магнитный поток распределяется по более сложной кривой, которую можно заменить суммой не двух синусоидальных кривых, а нескольких. Так, на рис. 116 изображена кривая 2 действительного распределения магнитного потока, которую можно заменить суммой трех синусоидальных кривых 1, 3, 4.

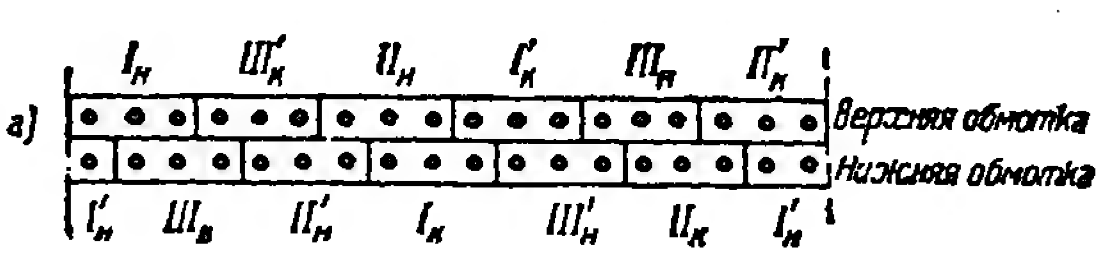
Из рис. 116 видно, что при диаметральном шаге катушки напряжение на зажимах катушки будет изменяться по кривой 2; если же сделать шаг укороченным и равным b, то кривая напряжения будет близкой к синусоиде, так как магнитный поток, изображенный кривой 4, не будет индуктировать э. д. с., потому что в любом положении катушки магнитный поток, проходящий через нее, равен нулю. Магнитный поток кривой 3 будет индуктировать э. д. с. очень незначительную, так как будет действовать только небольшой частью a, заштрихованной вертикальными линиями.

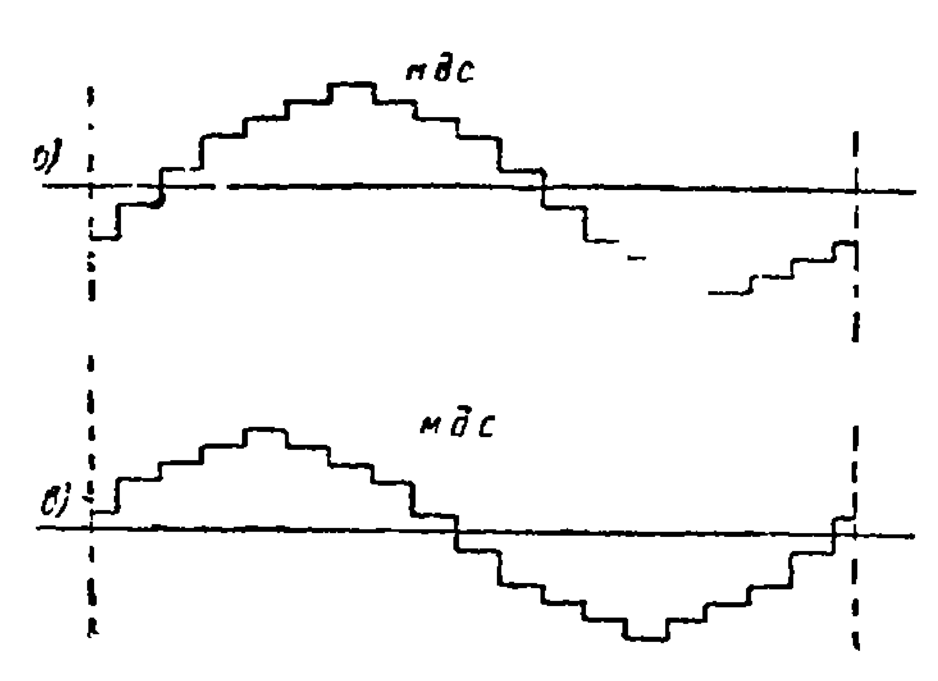
В отношении образования магнитного потока обмотки с укороченным шагом также имеют преимущества по сравнению с обмотками с диаметральным шагом.

На рис. 117, *а* изображена упрощенная схема двухслойной обмотки с укороченным шагом и с $q = 3$. На рис. 117, *б* построена кривая м. д. с. одной верхней обмотки. Для нижней обмотки кривая м. д. с. будет той же самой, так как относительное расположение сторон катушек то же самое (рис. 117, *в*). Ввиду того, что обмотки сдвинуты, кривые м. д. с. оказались также сдвинутыми. Поэтому результирующая м. д. с. всей двухслойной обмотки (рис. 117, *в*) по своему виду будет отличаться от кривых м. д. с. отдельных слоев. Благодаря сдвигу

кривых кривая результирующей м. д. с. получается более синусоидальной.

Таким образом двухслойные обмотки с укороченным шагом дают преимущества по сравнению с обмотками с диаметральным шагом как для синхронных, так и для асинхронных машин. Кроме этого, эти обмотки имеют меньший расход меди.





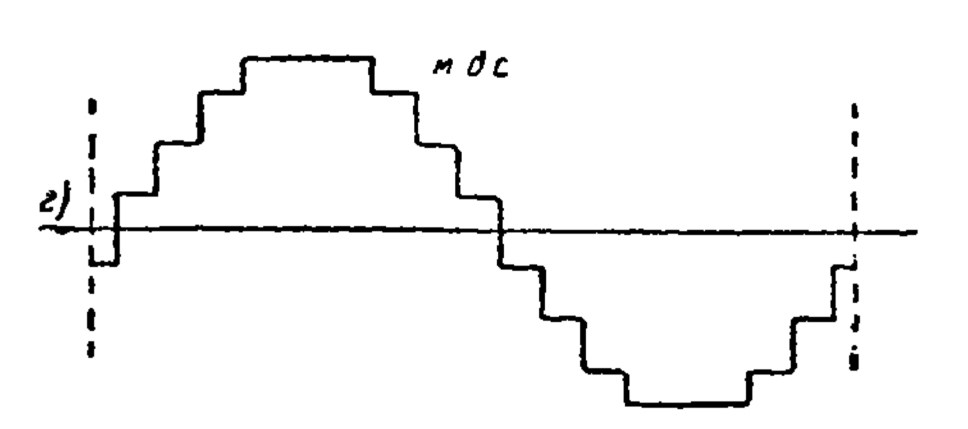


Рис. 117. Кривая м. д. с. двухслойной обмотки с укороченным шагом.

Обычно в двухслойных обмотках стараются делать шаг катушки близким к 0,8 полюсного шага. В этом случае кривые напряжения и м. д. с. статора становятся более близкими к синусоиде, чем при другой ширине катушки.

При диаметральном шаге катушки ширина катушки будет равна $b = 3q$, где q — число пазов на полюс и фазу.

Составим таблицу наиболее желательной ширины катушки при различном значении q и укорочении, близком к 0,8.

$q=1$	2	3	4	5	6	7
$\tau=3$	6	9	12	15	18	21
$b=2$	5	7	10	12	15	17
$\frac{b}{\tau}=\frac{2}{3}$	$\frac{5}{6}$	$\frac{7}{9}$	$\frac{10}{12}$	$\frac{12}{15}$	$\frac{15}{18}$	$\frac{17}{21}$
$\frac{b}{\tau}=0{,}666$	0,833	0,78	0,833	0,8	0,833	0,81

Таким образом рекомендуется брать следующие шаги катушек:

при $q=2$ шаг из 1-го в 6-ой паз
$q=3$ » » 1-го » 8-ой »
$q=4$ » » 1-го » 11-ой »
$q=5$ » » 1-го » 13-ый »
$q=6$ » » 1-го » 16-ый »
$q=7$ » » 1-го » 18-ый »

Выше мы говорили, что укороченный шаг уменьшает э. д. с. по сравнению с диаметральным шагом. Поэтому для получения одной и той же э. д. с. нужно увеличить число витков в фазе, т. е. увеличить число витков каждой катушки.

Отношение э. д. с. катушки при укороченном шаге к э. д. с. катушки с тем же числом витков при диаметральном шаге называют **обмоточным коэфициентом укорочения** f_B. Этот обмоточный коэфициент всегда меньше единицы и зависит от степени укорочения шага.

Обмоточный коэфициент укорочения в этих случаях будет равен:

$$\text{при } q=2 \text{ и } \frac{b}{\tau}=\frac{5}{6}\ f_B=0{,}966$$

$$q=3 \text{ и } \frac{b}{\tau}=\frac{7}{9}\ f_B=0{,}945$$

$$q=4 \text{ и } \frac{b}{\tau}=\frac{10}{12}=\frac{5}{6}\ f_B=0{,}966$$

$$q=5 \text{ и } \frac{b}{\tau}=\frac{12}{15}=\frac{4}{5}\ f_B=0{,}951$$

$$q=6 \text{ и } \frac{b}{\tau}=\frac{15}{18}=\frac{5}{6}\ f_B=0{,}966$$

$$q=7 \text{ и } \frac{b}{\tau}=\frac{17}{21}=\ f_B=0{,}957$$

Отсюда мы видим, что уменьшение э. д. с. при укорочении шага до 0,8 в среднем достигает $\sim 5\%$. Если бы длина витка оставалась той же самой, что и у катушки с диаметральным шагом, то вес меди обмотки увеличился бы приблизительно на 5%. Ниже будет показано, что с укорочением шага катушки длина лобовых частей (вылеты) обмотки уменьшается, так что в результате расход меди на обмотку уменьшается примерно на 10—15%.

К другим преимуществам двухслойной обмотки с укороченным шагом следует отнести уменьшение реактивного сопротивления обмотки.

Известно, что вокруг каждого проводника, по которому протекает электрический ток, образуется магнитное поле. При изменении тока во времени (переменный ток) меняется и магнитный поток, окружающий проводник, вследствие чего в последнем будет индуктироваться э. д. с. самоиндукции. Э. д. с. самоиндукции, деленная на силу тока, называется **реактивным сопротивлением**.

Если теперь взять две катушки с одинаковым числом витков: одну с диаметральным шагом, а другую с укороченным, то при одной и той же силе тока реактивное сопротивление катушки с укороченным шагом будет меньше, так как длина ее витка будет короче, т. е. меньше будет магнитный поток, связанный с лобовыми частями катушки.

Кроме этого, при укороченном шаге катушки будет уменьшаться реактивное сопротивление и активной части катушки, т. е. той части, которая уложена в пазы. Дело в том, что, как это мы увидим из схем, при укороченных катушках в некоторых пазах по верхним и нижним

проводникам паза протекает ток различных фаз, в то время как при диаметральных катушках проводники каждого паза принадлежат одной какой-нибудь фазе. Это приводит к тому, что общий объем тока паза (сумма произведений из мгновенных значений силы тока на число проводников для верхнего и нижнего слоев) будет меньше, что повлечет за собой и уменьшение магнитного потока, вызываемого этим общим током паза.

Уменьшение реактивного сопротивления обмотки статора крайне желательно иметь в асинхронных двигателях.

Г. Схемы двухслойных обмоток

На рис. 118 изображена полная схема в развернутом виде для двухполюсной машины, имеющей 18 пазов, $q=\frac{Z}{2pm}=\frac{18}{2\cdot 3}=3$. Шаг обмотки равен 7 (1—8), т. е. ширина катушки b взята равной 7. Полюсный шаг, выраженный в пазах, равен $\tau=\frac{18}{2}=9$. Таким образом изображенная на рисунке обмотка имеет укороченный шаг, причем укорочение $\beta=\frac{b}{\tau}=\frac{7}{9}$.

Так как $q=3$, то на каждую фазную зону (участки) статора будет приходиться по три паза.

Поступая согласно рис. 113, помещаем верхние стороны *1*, *2*, *3* на участке I_H, тогда нижние стороны трех катушек займут нижние половины пазов *8*, *9* и *10*. Стороны *8*, *9* и *10* образуют участок I_K. Таким образом одна катушечная группа фазы *I* будет занимать верх пазов *1*, *2* и *3*, а нижние стороны — низ пазов *8*, *9* и *10*.

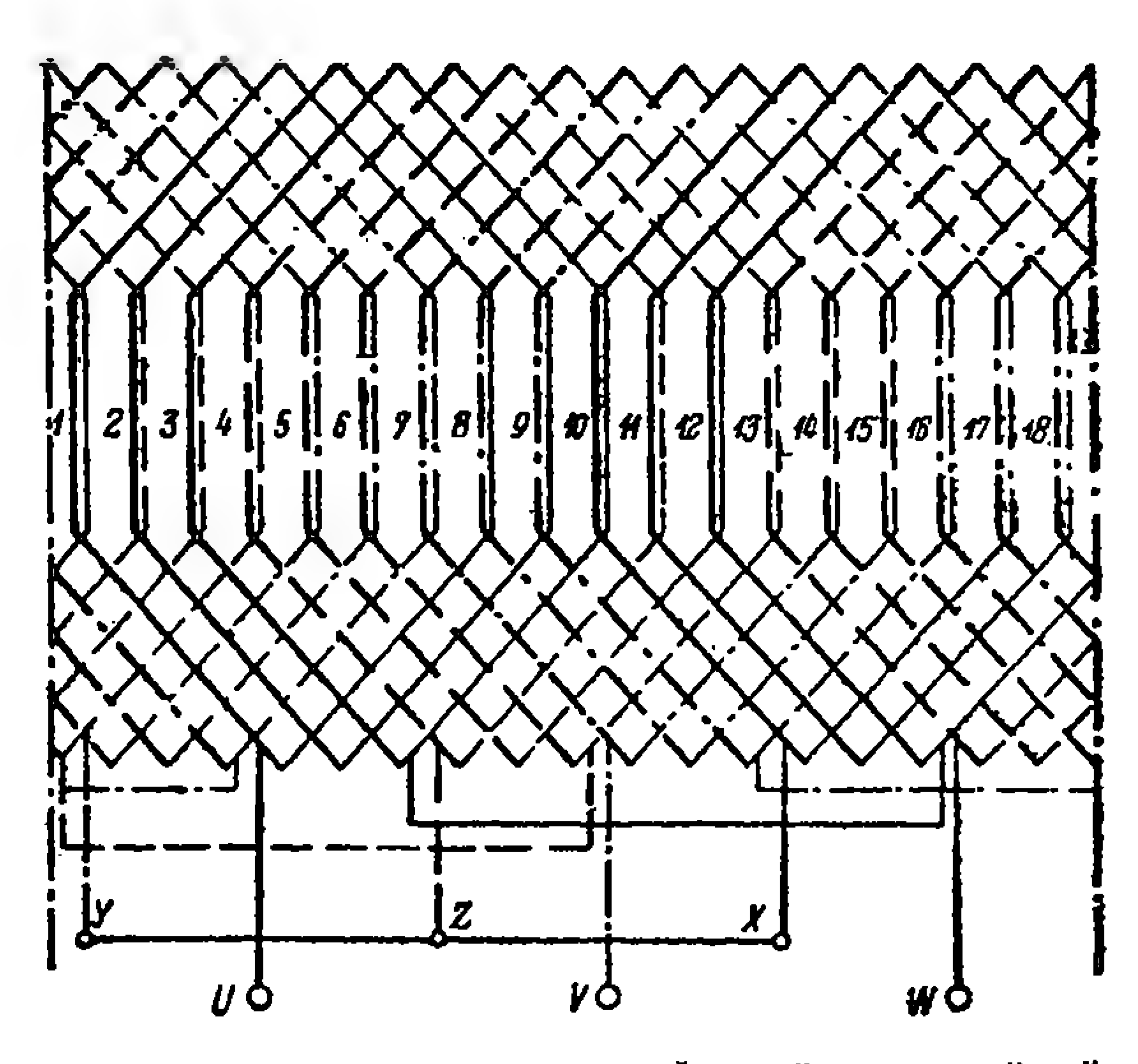


Рис. 118. Полная схема трехфазной двухслойной обмотки.

Пропустив две фазных зоны III_K и II_H, т. е. $2q=2\cdot 3=6$ пазов, находим фазную зону той фазы, где будут лежать верхние стороны другой катушечной группы. Номера сторон или пазов очевидно будут равны

$$1+\tau=1+9=10$$
$$2+\tau=2+9=11$$
$$3+\tau+3+9=12$$

Нижние стороны катушек второй катушечной группы займут пазы, номера которых будут равны

$$10 + b = 10 + 7 = 17$$

$$11 + b = 11 + 7 = 18$$

$$12 + b = 12 + 7 = 19 = 1,$$

так как всего только 18 пазов.

Предположим, что число параллельных ветвей $a = 1$, т. е. все катушечные группы фазы соединяются последовательно. Пользуясь рис. 111, производим соединение, показанное на рис. 118. Начало фазы I обозначим через U, а конец — через X. Начала фаз II и III обозначим через V и W, а концы — соответственно через Y и Z.

Д. Упрощенные схемы

Для упрощения составления схем и пользования ими при намотке статоров постараемся упростить процесс нахождения катушечных групп той или иной фазы и их начал и концов.

К этому можно подойти, исходя не из принципиальной схемы, т. е. из распределения фазных зон, а исходя из процесса укладки обмотки.

Дело в том, что обычно обмотчик закладывает в пазы все катушки подряд, не интересуясь, к какой фазе катушка принадлежит. Так как каждая катушка имеет один верхний и другой нижний концы, то после укладки катушек мы будем иметь Z свободных верхних и Z свободных нижних концов, где Z равно числу пазов и числу катушек. Эти концы всегда расположатся таким образом, что верхние и нижние концы будут чередоваться, что нетрудно заметить по рис. 107.

Так как в каждую катушечную группу включается последовательно q соседних катушек, то мы, начиная с любого места, начинаем образовывать катушечные группы, соединяя последовательно q соседних катушек согласно рис. 118. Получаем в результате схему, изображенную на рис. 119, *а*.

Так как в каждой катушечной группе находится по q катушек, то, проделав все соединения катушек в катушечные группы, получим, что число верхних и нижних концов уменьшится в q раз и будет равно $\frac{Z}{q}$ свободных верхних концов и $\frac{Z}{q}$ свободных нижних концов.

При этом, как и в первом случае, верхние и нижние концы будут чередоваться.

Очевидно, что число верхних, так же как и число нижних концов, будет равно числу катушечных групп.

Так как $Z = 2pmq$, где Z — число катушек или пазов, $2p$ — число полюсов, m — число фаз, q — число пазов на полюс и фазу, то число катушечных групп (назовем это число через A) будет равно:

$$A = \frac{Z}{q} = \frac{2pmq}{q} = 2pm.$$

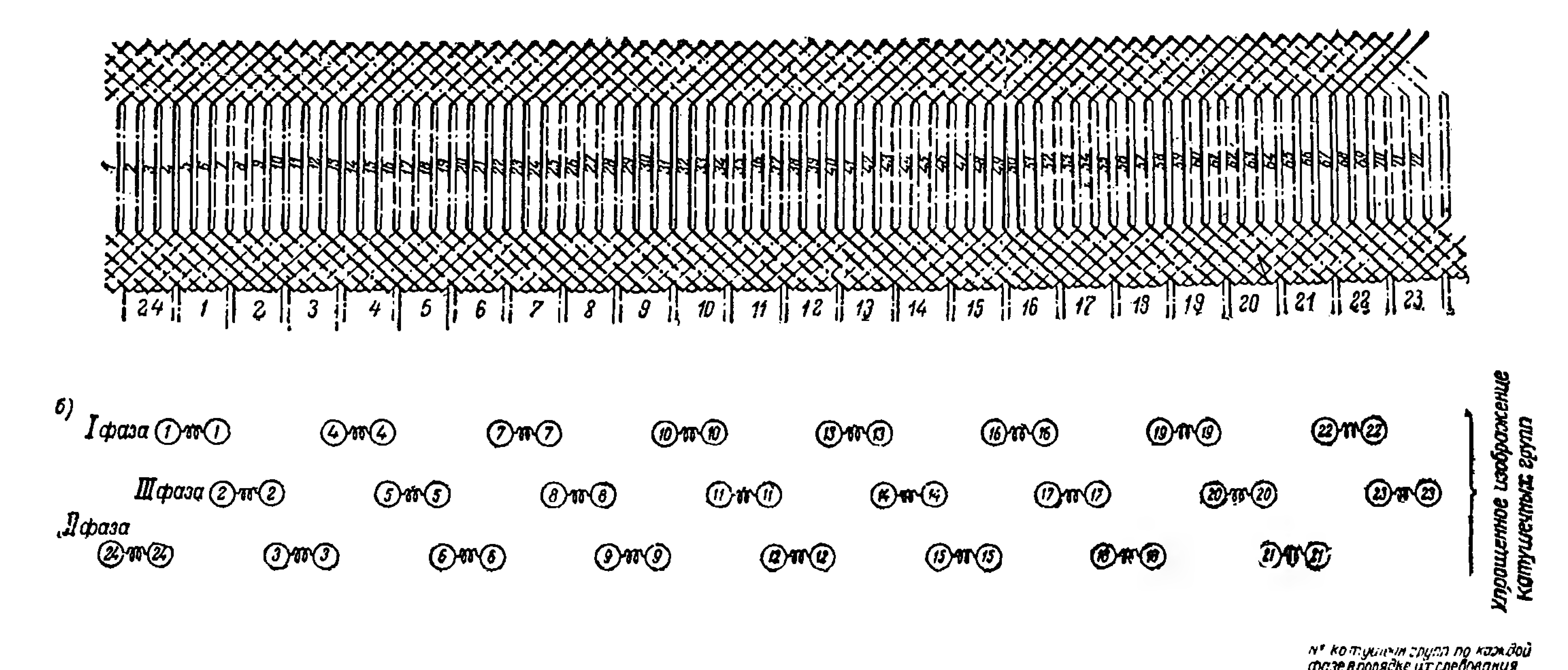


Рис. 119. Замена полной схемы упрощенной

В каждой фазе число катушечных групп (назовем это число через B) будет равно:

$$B = \frac{A}{m} = \frac{2pm}{m} = 2p.$$

Таким образом в двухслойных обмотках каждая фаза имеет $2p$ катушечных групп.

Каждая катушечная группа имеет один верхний и один нижний конец, расположенные рядом (см. рис. 119, *а*).

Дадим номера каждому свободному концу, причем для начал и концов одной и той же катушечной группы оставим один и тот же номер (на рис. 119, *а* между началами и концами катушечных групп поставлены номера в порядке их следования). Дальнейшая задача будет заключаться в разбивке катушечных групп по фазам. При этом необходимо подчеркнуть одно важное упрощение. Дело в том, что при таком подходе к образованию схемы совершенно не интересуются шагом катушек. При любом шаге катушек мы будем иметь то же самое число концов и таким же образом расположенных относительно друг друга.

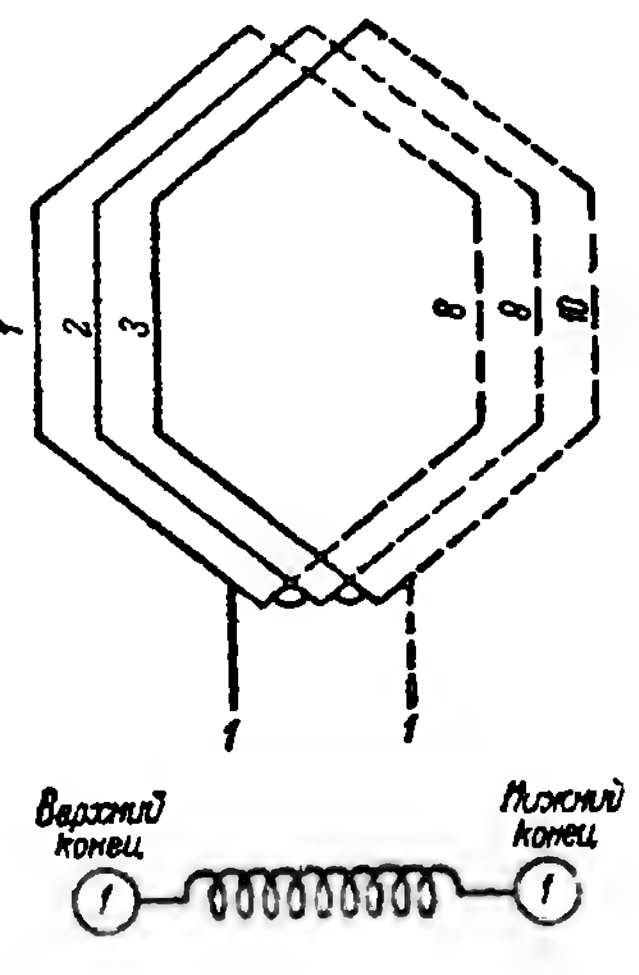


Рис. 120. Катушечная группа в упрощенной схеме.

В каждую фазу включаются катушечные группы, расположенные по статору через две катушечные группы (рис. 118).

Если условиться, что катушечная группа *1* (рис. 119, *а*) принадлежит фазе *I*, то другие катушечные группы той же фазы будут иметь номера, отличающиеся на 3, а именно: *1*, *4*, *7*, *10*, *13*, *16*, *19*, *22*.

Пропуская одну катушечную группу, получим первую катушечную группу фазы *II*. Номера катушечных групп фазы *II* будут отличаться от номеров групп фазы *I* на 2, т. е. будут иметь номера: *3*, *6*, *9*, *12*, *15*, *18*, *21*, *24*.

Номера катушечных групп фазы *III* будут отличаться на 2 от номеров групп фазы *II*, т. е. будут иметь следующие номера: *5*, *8*, *11*, *14*, *17*, *20*, *23*, *2*.

Чтобы не вычерчивать каждый раз катушечные группы, по рис. 108, в дальнейшем будем их изображать условно в виде спиралей (рис. 120). При этом будем считать, что левый кружок отвечает верхнему, а правый — нижнему концам катушечной группы.

При таком упрощении схема обмотки будет представлять ряд спиралей с указанием номеров концов, причем спирали заключены между концами катушечной группы, что показано на рис. 119, *б*. Для большей ясности катушечные группы, принадлежащие одной и той же фазе, расположены в одном горизонтальном ряду. Верхний горизонтальный ряд относится к фазе *I*, средний — к фазе *III* и нижний — к фазе *II*.

В дальнейшем катушечные группы будем располагать по вертикали, как это показано на рис. 121.

Каждому вертикальному столбцу отвечает одна фаза. Так же как и при горизонтальном расположении катушечных групп, левый номер отвечает верхнему концу катушечной группы, а правый — нижнему.

Такое расположение катушечных групп делает упрощенную схему еще более наглядной.

Число катушечных групп, как было сказано выше, равно числу полюсов. Поэтому упрощенная схема, изображенная на рис. 121, соответствует восьмиполюсной машине.

I фаза концы верхние	I фаза концы нижние	II фаза концы верхние	II фаза концы нижние	III фаза концы верхние	III фаза концы нижние
1	1	3	3	5	5
4	4	6	6	8	8
7	7	9	9	11	11
10	10	12	12	14	14
13	13	15	15	17	17
16	16	18	18	20	20
19	19	21	21	23	23
22	22	24	24	2	2

Рис. 121. Катушечные группы в упрощенной схеме.

Рассматривая рис. 121, мы видим, что в упрощенной схеме номера концов катушечных групп меняются: по горизонтали — на 2 и по вертикали — на 3.

Номера концов последних катушечных групп зависят от числа полюсов машины. Из рис. 121 видно, что номера концов этих катушечных групп будут равны:

для фазы *I* . . . . . . $3 \cdot 2p - 2$
» фазы *II* . . . . . . $3 \cdot 2p$
» фазы *III* 2

Например для машины $2p = 12$:

для фазы *I* . . . . . $3 \cdot 12 - 2 = 34$
» фазы *II* . . . . . $3 \cdot 12 = 36$
» фазы *III* 2

для машины $2p = 8$ (см. рис. 121):

для фазы *I* . . . . . $3 \cdot 8 - 2 = 22$
» фазы *II* . . . . . $3 \cdot 8 = 24$
» фазы *III* . . . . . $= 2$

Е. Соединение катушечных групп

Способ соединения катушечных групп фазы определяется при расчете машины. В общем катушечные группы могут либо быть соединены все последовательно, либо быть соединены все параллельно, либо же иметь то или иное число параллельных ветвей *a*. Рассмотрим все эти случаи.

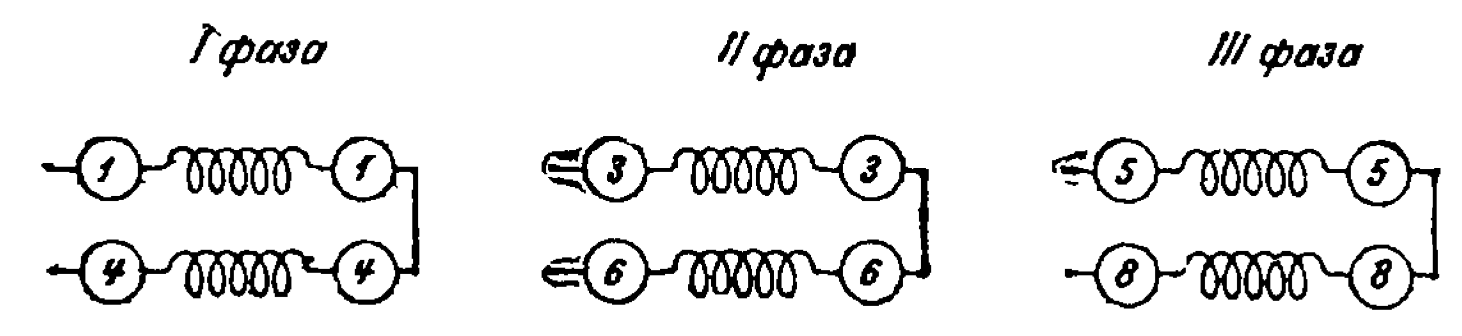


Рис. 122. Последовательное соединение двух соседних катушечных групп.

а. Все катушечные группы соединены последовательно (a=1)

На рис. 111 было показано последовательное соединение двух соседних катушечных групп. Из этого рисунка видно, что для того чтобы соединить две соседние катушечные группы фазы последовательно, нужно нижний конец первой катушечной группы соединить с нижним концом второй и верхние концы вывести к зажимам.

Рис. 123. Последовательное соединение двух катушечных групп, находящихся под разноименными полюсами.

Здесь необходимо оговорить, что в электрическом отношении катушечные группы можно соединить и другим способом, а именно: соединить между собой два верхних конца, а нижние концы вывести к зажимам. Поэтому важно, чтобы то или иное соединение было выполнено одинаково для всех катушечных групп всех фаз.

На упрощенной схеме это соединение показано на рис. 122.

Если требуется последовательное соединение всех катушечных групп, то мы сначала должны соединить последовательно две соседние катушечные группы (см. рис. 123).

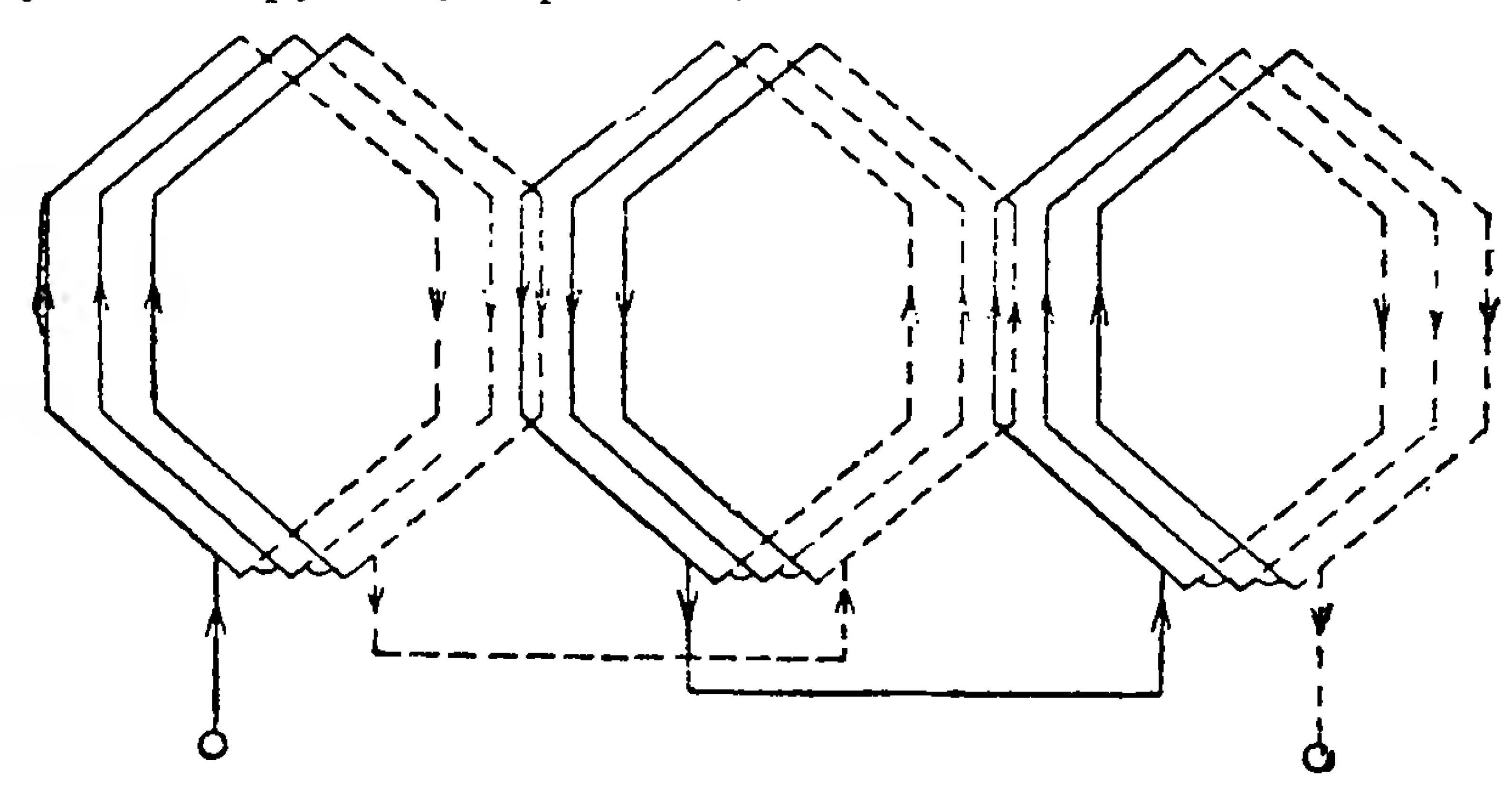


Рис. 124. Последовательное соединение трех соседних катушечных групп одной фазы.

Этим самым мы соединили последовательно катушечные группы, находящиеся под разноименными полюсами, так как из предыдущего мы знаем, что соседние катушечные группы фазы отстоят друг от друга на 180 эл. градусов.

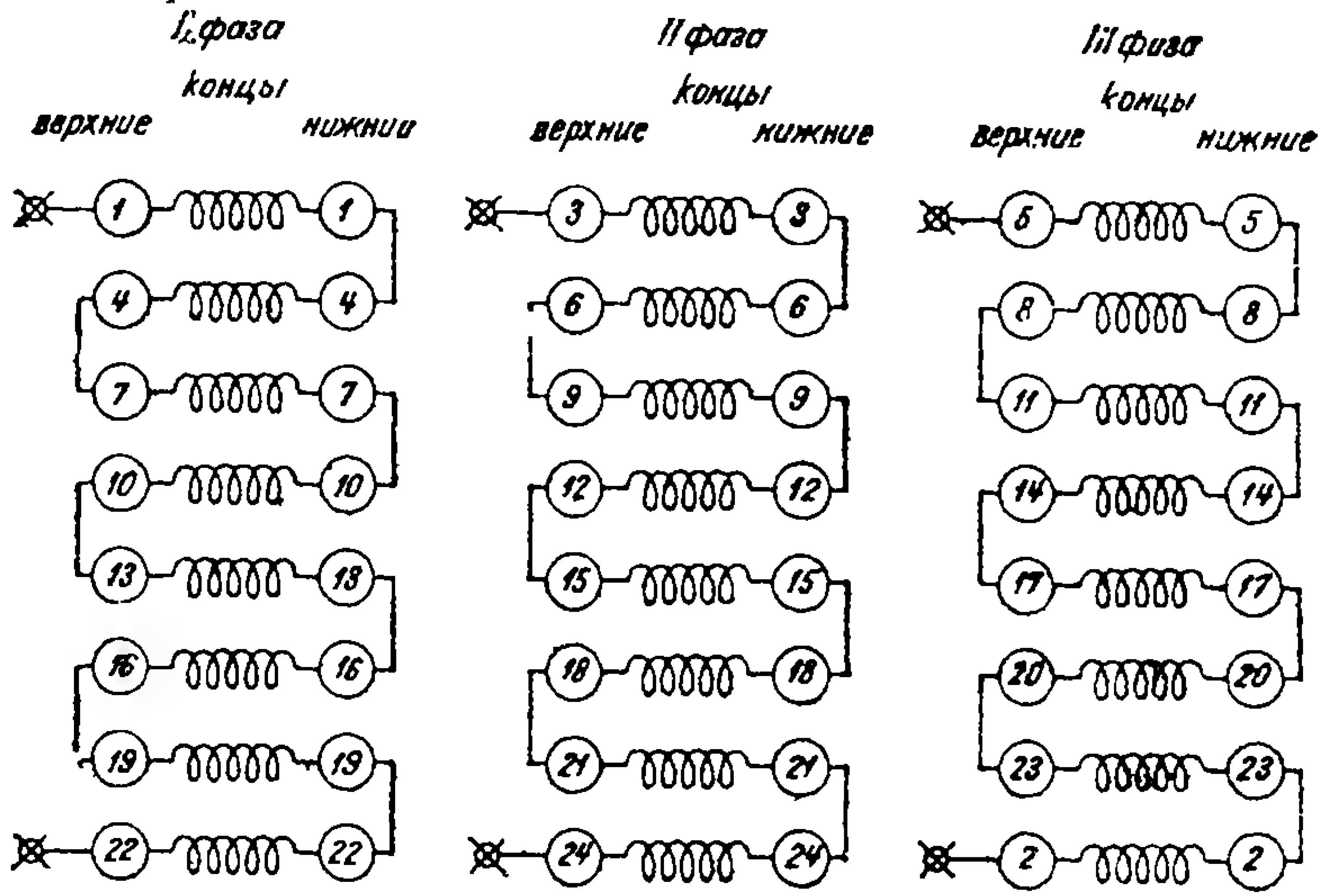


Рис. 125. Последовательное соединение всех катушечных групп восьмиполюсной машины.

На рис. 124 показано последовательное соединение трех катушечных групп.

Из этого рисунка видно, что для того чтобы к двум соседним катушечным группам фазы, соединенным последовательно, присоединить

последовательно третью катушечную группу, которая сдвинута на 360 эл. градусов от первой, нужно верхний конец второй катушечной группы соединить с верхним концом третьей группы. Распространяя

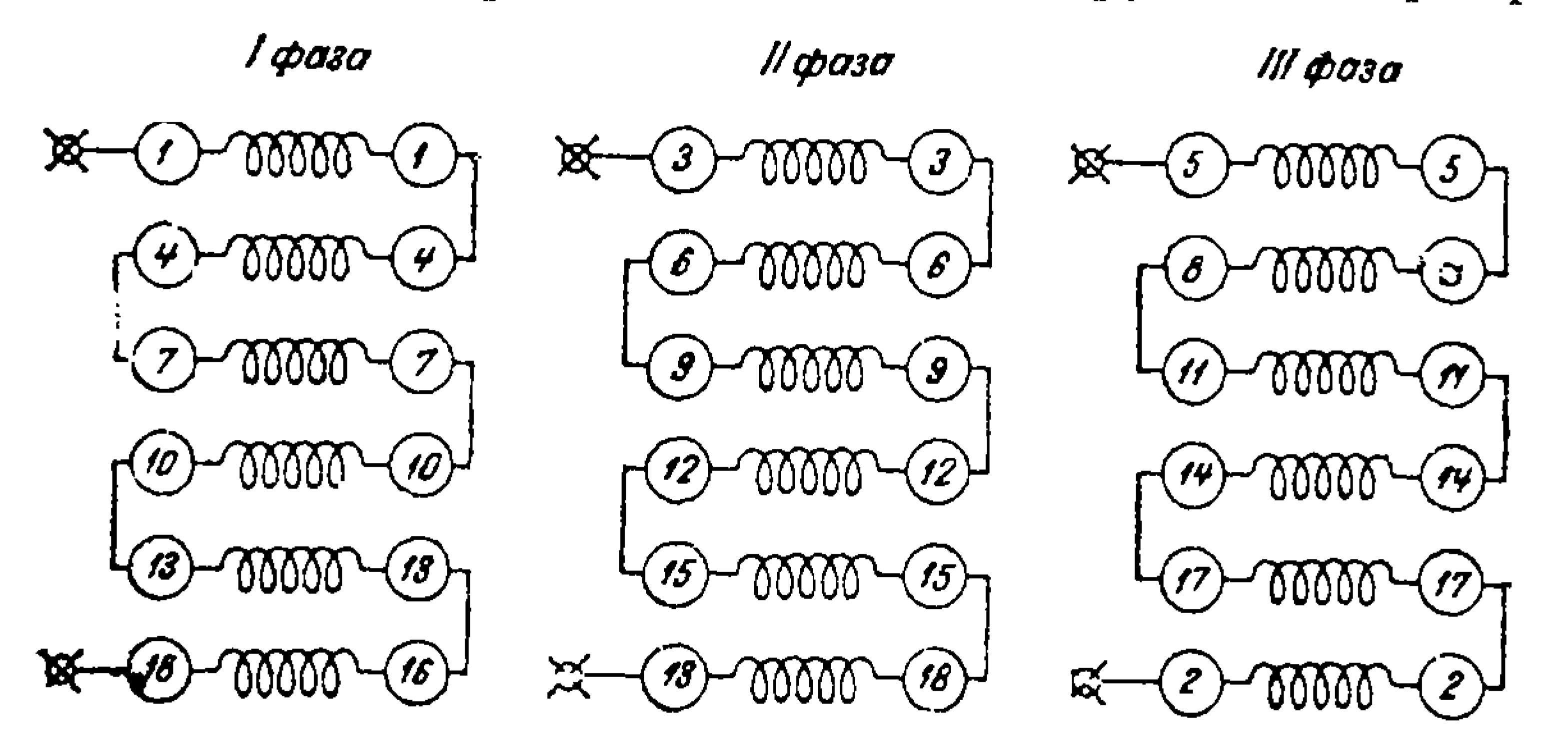


Рис. 126. Последовательное соединение всех катушечных групп шестиполюсной машины.

такое соединение на всю обмотку, получаем окончательную схему рис. 125.

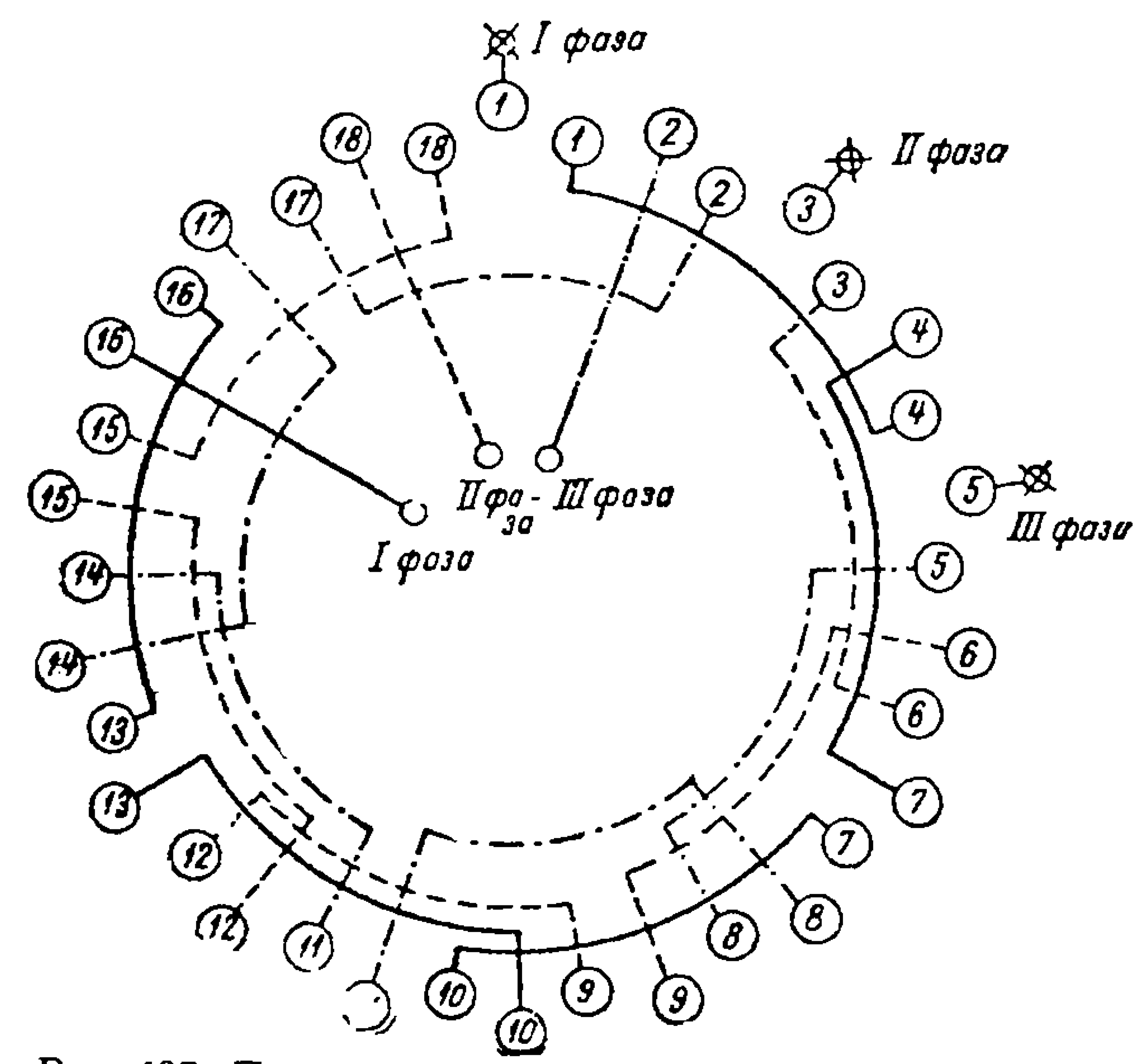


Рис. 127. Последовательное соединение всех катушечных групп шестиполюсной машины.

Для того чтобы соединить обмотку в звезду, нужно соединить между собой концы *22*, *24* и *2*, а концы *1*, *3* и *5* вывести к зажимам, или, наоборот, соединить между собой концы *1*, *3* и *5*, а концы *22*, *24* и *2* вывести к зажимам.

Если обмотку соединить в треугольник, то для этого нужно соединить между собой концы 1 и 24, 3 и 2, 5 и 22 и от этих соединений вывести концы к зажимам, или же соединить между собой концы 3 и 22, 5 и 24, 1 и 2 и от этих соединений вывести концы к зажимам.

В виде еще одного примера на рис. 126 изображена упрощенная схема обмотки шестиполюсной машины. Мы видим, что она отличается от схемы обмотки восьмиполюсной машины только тем, что вместо 8 катушечных групп в фазе стало 6 и соответственно этому уменьшилось и число концов. Кроме того, мы видим, что число пазов и укорочение шага обмотки никакого влияния на схему не оказывают, что объясняется тем, что мы оперируем не катушками, а катушечными группами. Укорочение шага учитывается при изготовлении катушки и на расположение концов катушечной группы не оказывает влияния.

На рис. 127 изображена действительная схема соединения концов катушечных групп обмотки, изображенной на рис. 126. При соединении фаз в звезду три внутренних конца нужно соединить между собой.

б. Все катушечные группы соединены параллельно ($a=2p$)

Так как двухслойная обмотка в каждой фазе имеет $2p$ катушечных групп, то, соединяя все катушечные группы параллельно, мы тем самым получаем $2p$ параллельных ветвей ($a = 2p$).

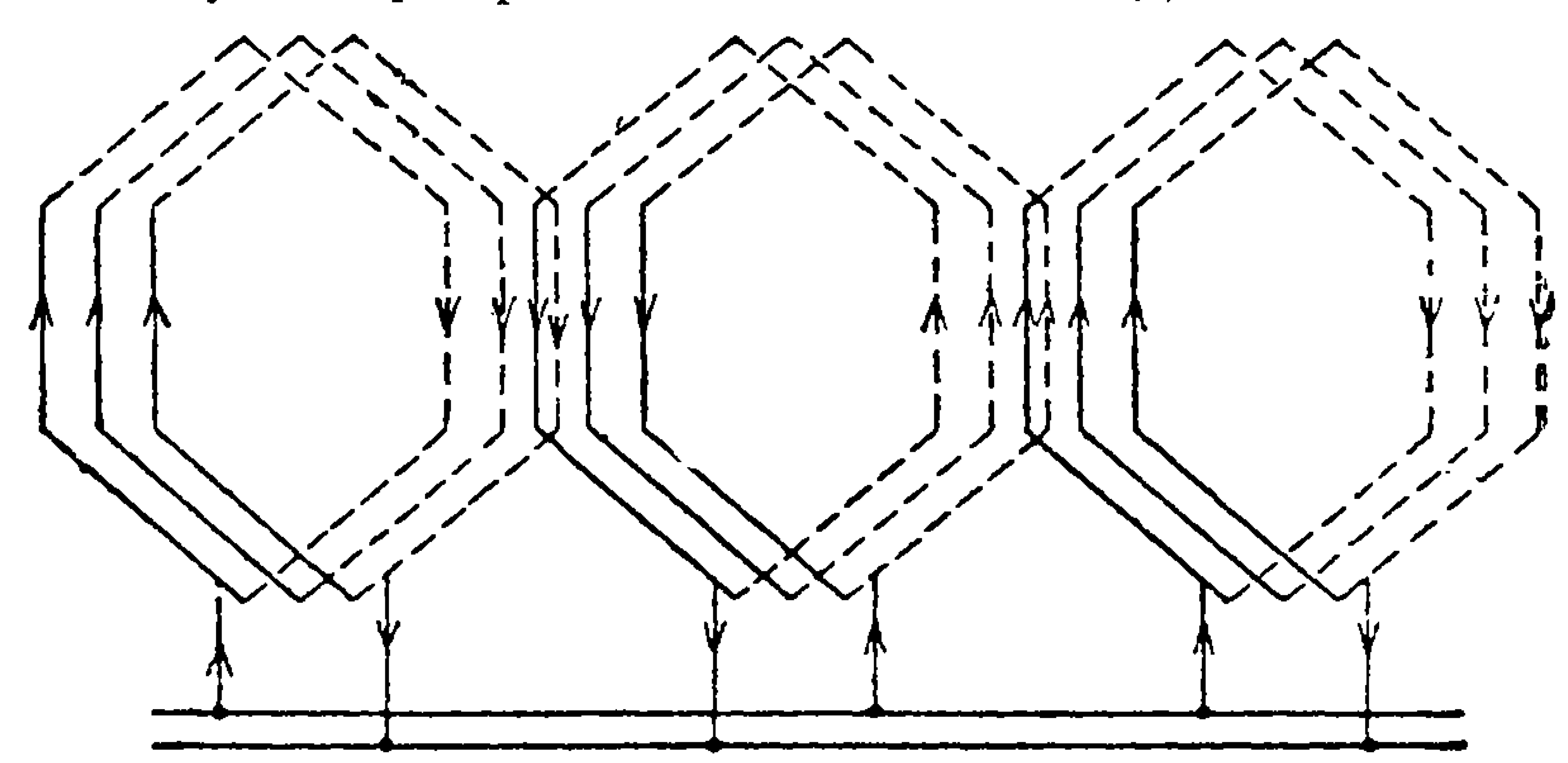


Рис. 128. Параллельное соединение трех катушечных групп.

На рис. 121 и 128 показано параллельное соединение двух и трех катушечных групп. Из этих рисунков можно заключить, что, для того чтобы соединить все катушечные группы параллельно, нужно к одному зажиму подключить все нечетные верхние концы и все четные нижние, а к другому зажиму — все нечетные нижние концы и все четные верхние. Это вполне понятно по тем соображениям, что все нечетные катушечные группы сдвинуты между собой на 360 эл. градусов, так же как и все четные между собой. Поэтому все нечетные катушечные группы мы должны присоединять одинаково. Так как четные катушечные группы сдвинуты от нечетных на 180 эл. градусов (так как они лежат под другими полюсами, чем нечетные), то необходимо

их присоединить, меняя местами верхние и нижние концы; при этом все четные катушки также присоединяются одинаково.

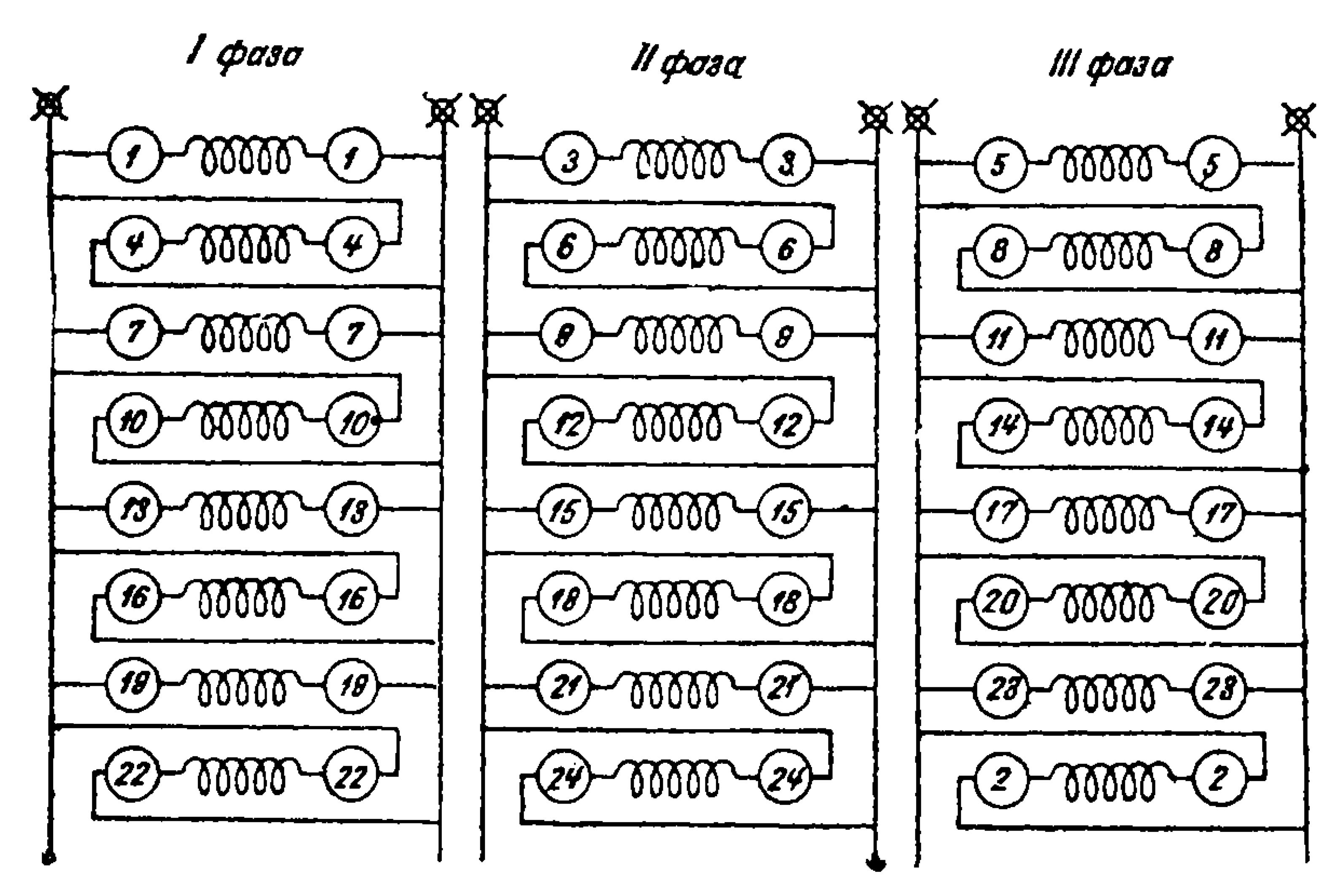


Рис. 129. Параллельное соединение всех катушечных групп восьмиполюсной машины.

На рис. 129 изображено параллельное соединение всех катушечных групп восьмиполюсной обмотки, которую мы перед этим рассматривали.

На рис. 130 изображено это же соединение, но для шестиполюсной машины

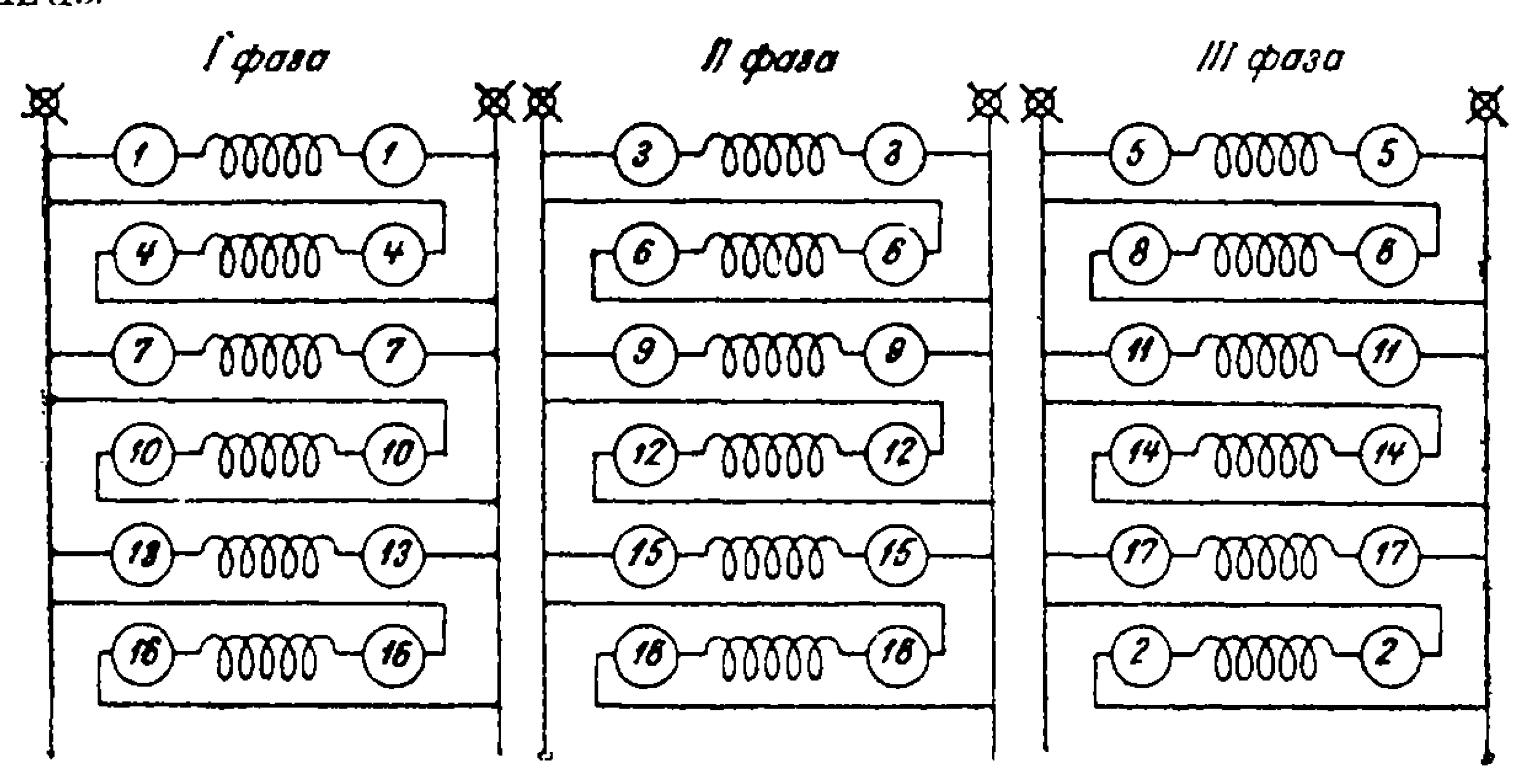


Рис. 130. Параллельное соединение всех катушечных групп шестиполюсной машины.

Рис. 126, 127, 129 и 130 показывают, что во всех двухслойных обмотках можно осуществить как последовательное, так и параллельное соединение всех катушечных групп, т. е. получить $a = 1$ и $a = 2p$.

в. Обмотка имеет две параллельные ветви ($a = 2$)

Так как число катушечных групп каждой фазы равно числу полюсов машины $2p$, то при двух параллельных ветвях половина катушечных групп, т. е. p групп, будет соединена последовательно. Таким образом, для того чтобы сделать две параллельные ветви, мы сначала должны соединить p катушечных групп последовательно в одну ветвь, а затем соединить эти ветви между собой параллельно. Для того чтобы э. д. с. в параллельных ветвях были равны друг другу, необходимо каждую параллельную ветвь распределять равномерно по всей обмотке. Дело в том, что, например, срабатывание подшипников может повлечь за собой увеличение воздушного зазора

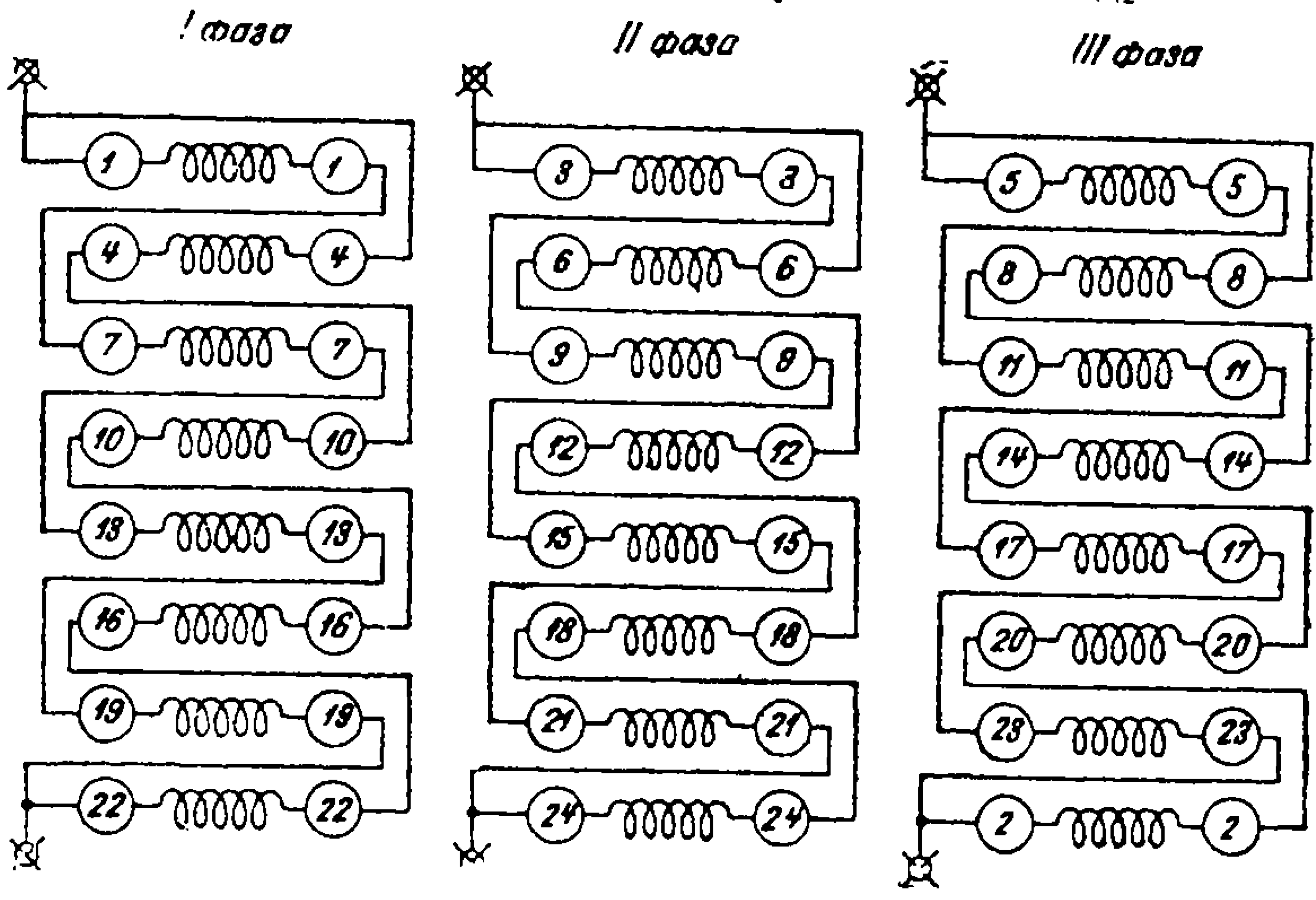


Рис. 131. Схема соединений при восьмиполюсной машине с двумя параллельными ветвями при p катушечных группах, соединенных последовательно.

между статором и ротором в верхней половине и уменьшение его в нижней. Поэтому, если одну параллельную ветвь образовать из катушечных групп, которые находятся в верхней половине, а другую — в нижней половине, получим, что э. д. с. ветвей будут неодинаковыми для верхней ветви э. д. с. будет меньше, чем для нижней. Исходя из этого, на рис. 131 в каждую параллельную ветвь включают катушечные группы через одну, т. е. в одной ветви будут все нечетные, а в другой — все четные катушечные группы. Так как число нечетных катушечных групп всегда равно числу четных катушечных групп, то отсюда можно сделать заключение, что все двухслойные обмотки могут иметь две параллельные ветви.

Соединение катушечных групп каждой ветви производим точно так же, как и на рис. 125, делая отличие только в том, что катушечные группы включаются не подряд, а через одну. Параллельное соединение ветвей осуществляем аналогично параллельному соединению двух соседних катушечных групп на рис. 130, т. е. к одному зажиму подводим верхний конец одной ветви, а к другому — нижний конец ее.

г. *Обмотка имеет p параллельных ветвей* ($a = p$)

При $a = p$ в каждой параллельной ветви, очевидно, будет по две последовательно соединенных катушечных группы, так как

$$\frac{2p}{a} = \frac{2p}{p} = 2.$$

Порядок соединения показан на рис. 132.

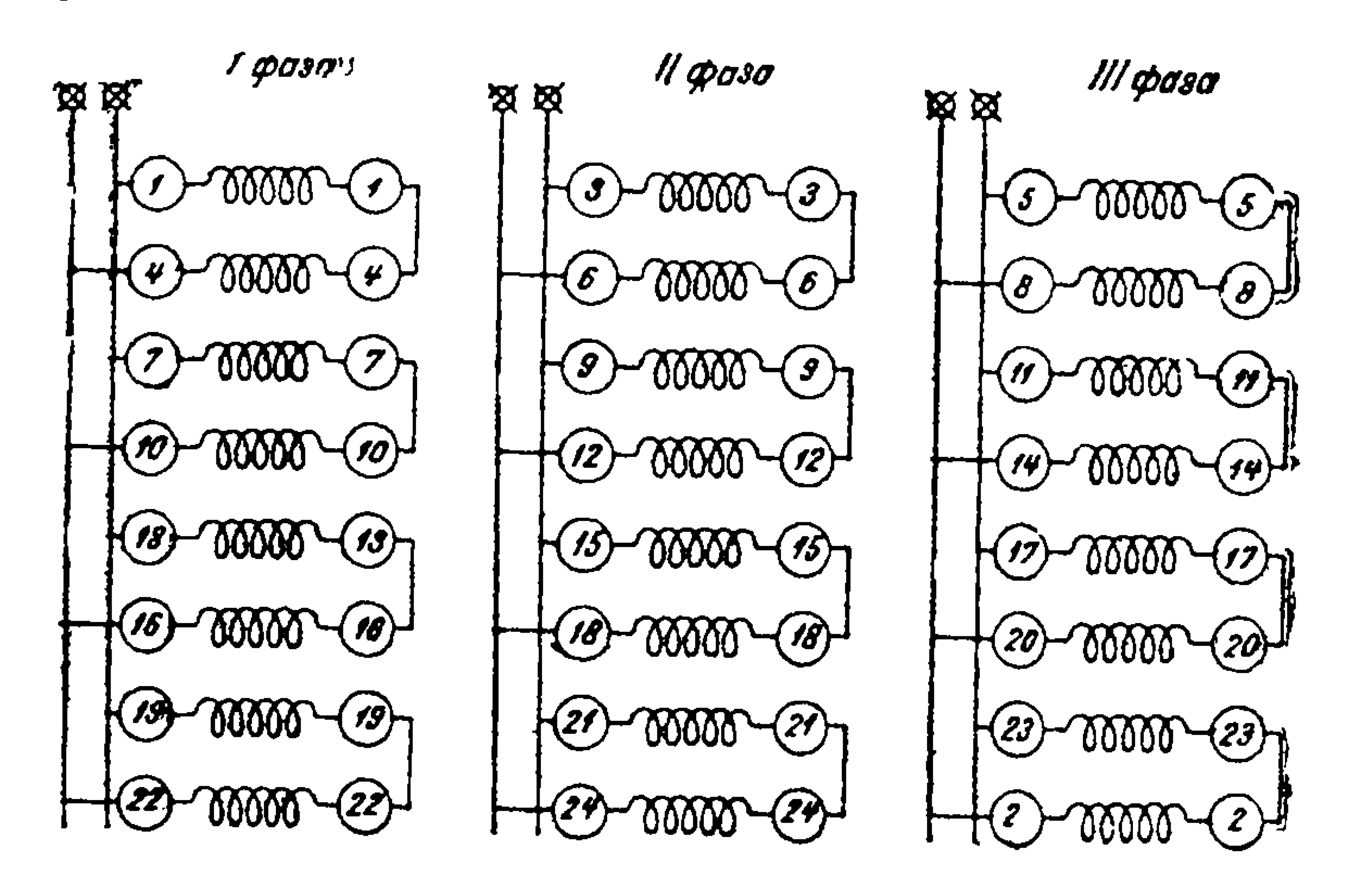


Рис. 132. Схема соединений при восьмиполюсной машине с p параллельными ветвями (2 катушечные группы соединены последовательно).

Так как вышеприведенное выражение справедливо при любом значении $2p$, то можно заключить, что все двухслойные обмотки могут иметь p параллельных ветвей.

д. *Обмотка имеет $\frac{p}{2}$ параллельных ветвей* $\left(a = \frac{p}{2}\right)$

Так как при $a = \frac{p}{2}$ число последовательно соединенных катушечных групп в каждой параллельной ветви будет равно

$$\frac{2p}{a} = \frac{2p}{\frac{p}{2}} = 4,$$

то $a = \frac{p}{2}$ можно осуществить только в тех обмотках, в которых число катушечных групп фазы делится на 4. Сюда относятся обмотки с:

1) $2p = 4 \quad a = \frac{p}{2} = \frac{2}{2} = 1$ все катушечные группы соединены последовательно.

2) $2p = 8 \quad a = \frac{p}{2} = \frac{4}{2} = 2$ см. рис. 131.

3) $2p = 12 \quad a = \frac{p}{2} = \frac{6}{2} = 3$ см. рис. 133.

4) $2p = 16 \quad a = \frac{p}{2} = \frac{8}{2} = 4.$

5) $2p = 20 \quad a = \frac{p}{2} = \frac{10}{2} = 5$

и т. д.

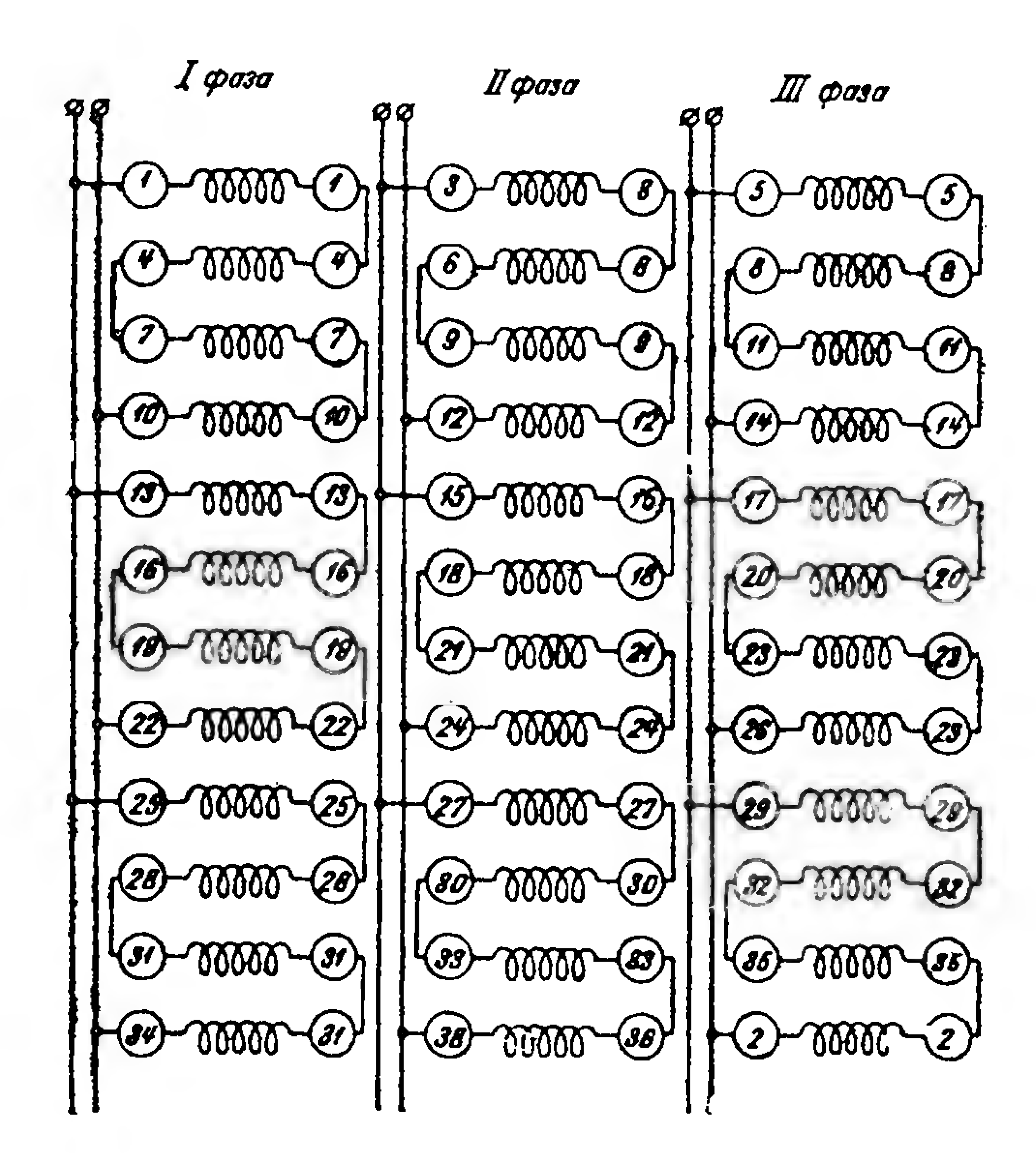


Рис. 133. Схема соединений при 12-полюсной машине при $p/2 = 3$ параллельиых ветвях (4 катушечные группы соединены последовательно).

Таким образом $\frac{p}{2}$ параллельных ветвей могут иметь обмотки машин, число полюсов которых делится на четыре: 4, 8, 12, 16, 20, 24 и т. д.

е. Обмотка имеет $\frac{p}{3}$ параллельных ветвей $\left(a=\frac{p}{3}\right)$

В этом случае в каждой параллельной ветви будет

$$\frac{2p}{a}=\frac{2p}{\frac{p}{3}}=6$$

катушечных групп, соединенных последовательно.

Рис. 134. 18-полюсная машина при $p/3 = 3$ параллельных ветвях (6 катушечных групп соединены последовательно).

Таким образом $a=\frac{p}{3}$ могут иметь только те обмотки, в которых число катушечных групп фазы делится на 6. К таким обмоткам

относятся обмотки машин, у которых число полюсов $2p$ делится на 6:

1) $2p = 6 \quad a = \frac{p}{3} = \frac{3}{3} = 1$ все катушечные группы соединены последовательно.

2) $2p = 12 \quad a = \frac{p}{3} = \frac{6}{3} = 2$ аналогично рис. 131.

3) $2p = 18 \quad a = \frac{p}{3} = \frac{9}{3} = 3$ см. рис. 134.

4) $2p = 24 \quad a = \frac{p}{3} = \frac{12}{3} = 4$

и т. д.

Рис. 134 отличается от рис. 133 только тем, что вместо четырех катушечных групп в каждой параллельной ветви включено последовательно по шесть катушечных групп. Все эти катушечные группы лежат рядом.

Для получения $\frac{p}{4}$, $\frac{p}{5}$, $\frac{p}{6}$ и т. д. параллельных ветвей поступают так же, как и при $a = \frac{p}{2}$ и $a = \frac{p}{3}$.

При $a = \frac{p}{4}$ в каждой параллельной ветви будет $\frac{2p}{a} = \frac{2p}{\frac{p}{4}} = 8$ последовательно соединенных катушечных групп, и поэтому $a = \frac{p}{4}$ могут иметь обмотки машин, у которых $2p$ делится на 8, т. е. машины с $2p = 8$; 16; 24; 32 и т. д.

При $a = \frac{p}{5}$

$$\frac{2p}{a} = \frac{2p}{\frac{p}{5}} = 10,$$

поэтому $a = \frac{p}{5}$ могут иметь только обмотки машин с $2p = 10$; 20; 30 и т. д.

Ж. Двухслойные обмотки с дробным числом пазов на полюс и фазу

а. О двухслойных обмотках с дробным q

Стремление получить синусоидальное напряжение на зажимах синхронных генераторов вызвало широкое применение обмоток с дробным числом пазов на полюс и фазу.

Эти обмотки могут выполняться как однослойными, так и двухслойными.

В настоящее время в практике электромашиностроительных заводов однослойные обмотки встречаются сравнительно мало. Однослойные обмотки с укороченным шагом и с несплошными фазными зонами применяются в основном для асинхронных двигателей, для которых обмотки с дробным q вообще нежелательны. Обмотки с дробным q изготовляются сейчас преимущественно двухслойными.

Исходя из этого, мы в дальнейшем будем касаться только двухслойных обмоток.

Отличие двухслойных обмоток с дробным q от двухслойных обмоток с целым q в основном заключается в следующем.

Выше мы видели, что двухслойную обмотку можно представить себе как две однослойные обмотки, уложенные в один статор. При диаметральном шаге катушек обе обмотки находятся в одинаковых точках кривой распределения магнитного потока, а при укороченном шаге обмотки сдвигаются относительно друг друга на угол $(1-\beta)\cdot 180°$ (см. рис. 113).

Если же рассмотрим только одну из обмоток, то увидим, что при целом q катушечные группы одной фазы сдвинуты одна от другой на полюсное деление. Поэтому э. д. с., которая индуктируется в катушечных группах одной фазы, всегда будут совпадать по фазе. Если э. д. с. одной катушечной группы несинусоидальна, то и э. д. с. всей обмотки также будет несинусоидальной.

Если мы каким-либо способом взаимно сдвинем катушечные группы фазы, то э. д. с. обмотки фазы уже не будет изменяться так же, как э. д. с. одной катушечной группы, она будет более синусоидальной. Этого и достигают в обмотках с дробным q.

При замене кривой поля (рис. 50) мы несколько упростили рассмотрение. Если мы сложим между собой синусоиды, то не получим кривой I. Для этого нам нужно ввести дополнительно еще целый ряд синусоид с более мелким шагом; шаг этих синусоид становится близким к шагу зубцов.

Вполне понятно, что для того чтобы уменьшить влияние полей с таким небольшим шагом, нам нужно незначительно сдвинуть между собой катушечные группы, — что и достигается обмотками с дробным q.

Сдвигая катушечные группы, мы как бы получаем две однослойные обмотки уже не с диаметральным шагом, как при целом q, а с укороченным шагом.

Такое добавочное укорочение шага и приводит к тому, что напряжение на зажимах машины становится более синусоидальным, чем при целом q.

Но такое укорочение шага имеет недостатки в смысле образования магнитного поля. Мы уже видели, что если стороны катушечных групп располагаются по обмотке не на одинаковых расстояниях между собой, как, например, в случае однослойных обмоток с несплошными фазными зонами при нечетном q, то кривая м. д. с., а поэтому и кривая поля становятся несимметричными. Это последнее и объясняет, почему дробные обмотки следует избегать применять в асинхронных двигателях.

б. Образование катушечных групп

До сих пор мы считали, что на каждом фазном участке всегда находятся q сторон катушек, и считали, что число пазов на полюс и фазу q равно числу катушек в катушечной группе. Сейчас мы переходим к рассмотрению таких обмоток, у которых число пазов на полюс и фазу q не равно числу катушек в катушечной группе. Действительно, мы не можем себе представить, чтобы катушечная группа имела дроб-

ное число катушек. Поэтому в обмотках с дробным q осуществление дробного q производят, применяя катушечные группы, имеющие неодинаковое число катушек.

Дробное число пазов на полюс и фазу q в общем случае можно выразить через буквенное выражение, а именно

$$q = b + \frac{c}{d}, \tag{44}$$

где b — целое число,

$\frac{c}{d}$ — правильная др бь.

Если, например, $q = 1\frac{3}{7}$, то $b = 1$, $c = 3$ и $d = 7$; если $q = 2\frac{3}{7}$, то $b = 2$, $c = 3$ и $d = 7$; если $q = 1\frac{2}{10}$, то необходимо сначала сократить дробь, т. е. сделать ее правильной, а именно: $q = 1\frac{2}{10} = 1\frac{1}{5}$.

В дальнейшем будем считать, что дробная часть представляет несократимую правильную дробь, т. е. c и d не имеют общих множителей.

Для того чтобы выполнить дробное q

$$b + 1 > q > b,$$

нужно взять несколько катушечных групп, состоящих из $b + 1$ катушек в каждой, а оставшиеся катушечные группы — из b катушек.

Если, например, $q = 1\frac{1}{7}$, то берут катушечные группы, состоящие из двух катушек ($b + 1 = 1 + 1 = 2$) и одной катушки ($b = 1$).

Так как

$$q = b + \frac{c}{d} = \frac{bd + c}{d}, \tag{45}$$

то, для того чтобы получить дробное q, мы должны взять $bd + c$ катушек и образовать из них d катушечных групп. В этом случае мы получим, что на каждую катушечную группу в среднем будет приходиться по q катушек.

Пусть из этих d катушечных групп x групп будут иметь по b катушек и y групп по $(b + 1)$ катушек. Тогда $bd + c = xb + y(b + 1)$.

Разделим обе части уравнения на b:

$$d + \frac{c}{b} = x + y + \frac{y}{b}.$$

Так как $x + y = d$, то $\frac{c}{b} = \frac{y}{b}$, откуда

$$y = c, \tag{46}$$

$$x = d - y = d - c. \tag{47}$$

Таким образом для того чтобы получить дробное q, мы должны взять $bd + c$ соседних катушек, часть из них соединить в c катушечных групп по $(b + 1)$ катушек, а оставшиеся катушки соединить в d—c

катушечных групп по b катушек в каждой. Как увидим ниже, чередование тех и других катушечных групп должно происходить в определенном порядке.

Если, например, $q = 1\frac{3}{7}$, то берем $bd + c = 1 \cdot 7 + 3 = 10$ катушек и соединяем их в $c = 3$ катушечные группы по $b + 1 = 1 + 1 = 2$ катушки и $d - c = 7 - 3 = 4$ катушечных группы по $b = 1$ катушке.

Соединив таким образом первые $bd + c$ катушек, берем следующие $bd + c$ катушек и соединяем их таким же образом.

Так как общее число катушек равно

$$Z = 2pmq = 2pm\frac{bd + c}{d}, \tag{48}$$

то, разделив обе части уравнения на $bd + c$, получим

$$\frac{Z}{bd + c} = \frac{2pm\frac{bd + c}{d}}{bd + c} = \frac{2pm}{d}.$$

В этих уравнениях $\frac{2pm}{d}$ должно быть целым числом, иначе мы не получим дробного q.

Дальше мы увидим, что d, или, как его обычно называют, знаменатель или показатель дробности, не должно быть кратным трем. Поэтому, для того чтобы $\frac{2pm}{d}$ было целым числом, необходимо, чтобы

$$\frac{2p}{d} \text{ равнялось целому числу.} \tag{49}$$

Таким образом при образовании катушечных групп мы должны повторять чередование из d групп $\frac{2pm}{d}$ раз.

Если взять предыдущий пример $q = 1\frac{3}{7}$, то найдем, что такую дробность мы можем применить только в том случае, если

$$\frac{2pm}{d} = \frac{2p \cdot 3}{7},$$

т. е. если $\frac{2p}{d}$ равно целому числу.

При $2p = 14$ получим

$$\frac{2pm}{d} = \frac{14 \cdot m}{7} = 6 \text{ чередований}$$

по $d = 7$ катушечных групп в каждом.

Каждое чередование имеет:

$c = 3$ катушечные группы по $b + 1 = 2$ катушки;

$d - c = 7 - 3 = 4$ катушечные группы по $b = 1$ катушки.

Подсчитаем, сколько катушек будет иметь обмотка: число катушечных групп по $(b + 1)$ катушек равно числу чередований, умноженному на $c = A$.

Число катушечных групп по b катушек равно числу чередований, умноженному на $(d-c)=B$.

Число катушек равно $(b+1)A+b\cdot B$.

Так как число чередований равно $\frac{2pm}{d}$, то

$$A=\frac{2pm}{d}\cdot c,\quad B=\frac{2pm}{d}(d-c).$$

Число катушек равно

$$(b+1)\frac{2pm}{d}c+b\frac{2pm}{d}(d-c)=\frac{2pm}{d}[(b+1)c+b(d-c)]=$$

$$=\frac{2pm}{d}[bc+c+bd-bc]=2pm\frac{bd+c}{d}=2pmq.$$

Если в предыдущем примере взять $2p=28$, то получим в два раза большее число чередований, т. е. 12.

В этом случае обмотка будет иметь:

$12\times3=36$ катушечных групп по 2 катушки,

$12\times(7-3)=48$ катушечных групп по 1 катушке,

$36+48=84$ всех катушечных групп,

$84\cdot1\frac{3}{7}=120$ катушек.

Выше мы выяснили, что число чередований равно $\frac{2pm}{d}$, отсюда на каждую фазу приходится по $\frac{2p}{d}$ чередований.

Если обмотка имеет a параллельных ветвей, то очевидно число катушек в каждой параллельной ветви должно быть одинаковым. Кроме того, э. д. с. параллельных ветвей должны совпадать по фазе. Это обстоятельство требует, чтобы параллельные ветви находились в одинаковых точках кривой магнитного поля. Для этого необходимо, чтобы все ветви имели по одинаковому числу катушечных групп, как состоящих из $b+1$ катушек, так и из b катушек, и чтобы чередование и расположение их в кривой поля были также одинаковыми.

Так как на всю фазу приходится по $\frac{2p}{d}$ чередований, то на каждую параллельную ветвь будет приходиться по $\frac{2p}{ad}$ чередований.

Для того чтобы э. д. с. параллельных ветвей были равны, $\frac{2p}{ad}$ должно быть целым числом.

В действительности, если обходить обмотку, мы встречаем катушечную группу фазы *I*, затем — фазы *III*, фазы *II* и т. д.

Нам нужно знать, сколько катушек будет иметь та или иная катушечная группа обмотки по порядку их следования в общей схеме обмотки.

Так, например, на рис. 119 изображена обмотка с 24 катушечными группами при $q=3$. Если взять то же число полюсов $2p=8$, но при другом числе пазов, то и при дробном q мы получим 24 кату-

шечных группы. Но в то время как при целом q каждая катушечная группа имела по $q = 3$ катушки, при дробном q мы из 24-х катушечных групп будем иметь часть групп, состоящих из b катушек, а часть — состоящих из $b + 1$ катушек. Поэтому после того как мы определим, сколько должно быть в каждой фазе тех и других катушечных групп, мы должны знать их порядок чередования.

В теории обмоток с дробным q выводится, что, для того чтобы получить симметричную трехфазную обмотку, нужно применить следующее чередование: [1]

$q = 1\frac{1}{2}$, чередование:

(1, 2), (1, 2), (1, 2) и т. д. по всей обмотке;

$q = 1\frac{1}{4}$, чередование:

(1, 1, 1, 2), (1, 1, 1, 2) и т. д. по всей обмотке,

или

(1, 1, 2, 1), (1, 1, 2, 1), (1, 1, 2, 1) и. т. д.;

или

(1, 2, 1, 1), (1, 2, 1, 1), (1, 2, 1, 1) и т. д.;

$q = 1\frac{3}{4}$, чередование:

(1, 2, 2, 2), (1, 2, 2, 2), (1, 2, 2, 2) и т. д.;

$q = 1\frac{1}{5}$, чередование:

(1, 1, 1, 1, 2), (1, 1, 1, 1, 2), (1, 1, 1, 1, 2) и т. д.;

или

(1, 1, 1, 2, 1), (1, 1, 1, 2, 1), (1, 1, 1, 2, 1) и т. д.;

или

(1, 1, 2, 1, 1), (1, 1, 2, 1, 1), (1, 1, 2, 1, 1) и т. д.;

или

(1, 2, 1, 1, 1), (1, 2, 1, 1, 1), (1, 2, 1, 1, 1); и т. д.;

$q = 1\frac{2}{5}$, чередование:

(2, 1, 2, 1, 1), (2, 1, 2, 1, 1), (2, 1, 2, 1, 1) и т. д;

или

(2, 2, 1, 1, 1), (2, 2, 1, 1, 1), (2, 2, 1, 1, 1) и т. д.;

$q = 1\frac{3}{5}$, чередование:

(1, 2, 1, 2, 2), (1, 2, 1, 2, 2), (1, 2, 1, 2, 2) и т. д;

или

(1, 1, 2, 2, 2), (1, 1, 2, 2, 2), (1, 1, 2, 2, 2) и т. д.;

$q = 1\frac{4}{5}$, чередование:

(1, 2, 2, 2, 2), (1, 2, 2, 2, 2), (1, 2, 2, 2, 2) и т. д.;

---

[1] «Вестник электропромышленности» № 9 за 1935 г., стр. 22.

$q = 1\frac{1}{7}$, чередование:

(1, 1, 1, 1, 1, 1, 2), (1, 1, 1, 1, 1, 1, 2), (1, 1, 1, 1, 1, 1, 2) и т. д.;

$q = 1\frac{2}{7}$; чередование:

(2, 1, 1, 2, 1, 1, 1), (2, 1, 1, 2, 1, 1, 1), (2, 1, 1, 2, 1, 1, 1) и т. д.;

$q = 1\frac{3}{7}$, чередование:

(2, 1, 2, 1, 2, 1, 1), (2, 1, 2, 1, 2, 1, 1), (2, 1, 2, 1, 2, 1, 1) и т. д.;

$q = 1\frac{5}{7}$, чередование:

(1, 2, 2, 1, 2, 2, 2), (1, 2, 2, 1, 2, 2, 2), (1, 2, 2, 1, 2, 2, 2) и т. д.;

$q = 1\frac{6}{7}$, чередование:

(1, 2, 2, 2, 2, 2, 2), (1, 2, 2, 2, 2, 2, 2), (1, 2, 2, 2, 2, 2, 2) и т. д.;

Если целая часть q больше единицы и равна, например, 3, то в чередовании катушечных групп цифры нужно увеличить на $(3 - 1) = 2$.

ПРИМЕРЫ

$q = 3\frac{5}{7}$, чередование:

(3, 4, 4, 3, 4, 4, 4) и т. д;

$q = 2\frac{1}{2}$, чередование:

(2, 3) и т. д;

$q = 4\frac{6}{7}$, чередование:

(4, 5, 5, 5, 5, 5, 5).

Таким образом, для того чтобы при дробном q обмотка получилась симметричной, необходимо при соединении катушек в катушечные группы пользоваться приведенным выше чередованием.

Рассмотрим несколько примеров.

Пример. 1.

$$2p = 4;\ q = 1\frac{1}{2}.$$

Находим $Z = 2pmq = 4 \cdot 3 \cdot 1\frac{1}{2} = 18$ пазов и катушек.

Число катушек в катушечных группах $b = 1$, $b + 1 = 1 + 1 = 2$.

Таким образом обмотка будет иметь ординарные и двойные катушечные группы.

Из рассмотренных чередований катушечных групп при разных q нетрудно подметить, что число катушечных групп ряда (числа, заключенные в скобки) равно знаменателю дробности q, т. е. d, а

число катушек — $(bd + c)$. Поэтому и в нашем примере в каждом ряду будет $d = 2$ катушечные группы и 3 катушки.

Чередование в этом случае будет: (1, 2), (1, 2), (1, 2) и т. д. Так как каждый ряд имеет 2 катушечные группы, а всего на обмотке $2pm = 4 \cdot 3 = 12$ катушечных групп, то число рядов будет равно

$$\frac{2pm}{d} = \frac{4 \cdot 3}{2} = 6,$$

и вся обмотка изобразится в виде следующего ряда:

(1, 2), (1, 2), (1, 2), (1, 2), (1, 2), (1, 2),

что дает $3 \cdot 6 = 18$ катушек.

Пример 2.

$$2p = 10; \quad q = 1\frac{2}{5}.$$

$Z = 2pmq = 10 \cdot 3 \cdot 1\frac{2}{5} = 42$ пазов и катушек.

Число катушек в катушечных группах $b = 1$, $b + 1 = 1 + 1 = 2$.
Число катушечных групп в ряду $d = 5$.
Число катушек в ряду $bd + c = 1 \cdot 5 + 2 = 7$.
Чередование катушечных групп в ряду (2, 1, 2, 1, 1).
Число рядов

$$\frac{2pm}{d} = \frac{10 \cdot 3}{5} = 6.$$

Полный ряд чередований катушечных групп:

(2, 1, 2, 1, 1), (2, 1, 2, 1, 1), (2, 1, 2, 1, 1),

(2, 1, 2, 1, 1), (2, 1, 2, 1, 1), (2, 1, 2, 1, 1),

Число катушек (для проверки) $7 \cdot 6 = 42$.

Пример 3.

$$2p = 14, \quad q = 1\frac{5}{7}.$$

$$Z = 2pmq = 14 \cdot 3 \cdot 1\frac{5}{7} = 72 \text{ паза и катушек.}$$

Число катушечных групп в ряду $d = 7$.
Число катушек в ряду $bd + c = 1 \cdot 7 + 5 = 12$.
Чередование катушечных групп в ряду (1, 2, 2, 1, 2, 2, 2).
Число рядов

$$\frac{2pm}{d} = \frac{14 \cdot 3}{7} = 6.$$

Полный ряд чередований катушечных групп:

(1, 2, 2, 1, 2, 2, 2), (1, 2, 2, 1, 2, 2, 2), (1, 2, 2, 1, 2, 2, 2),

(1, 2, 2, 1, 2, 2, 2), (1, 2, 2, 1, 2, 2, 2), (1, 2, 2, 1, 2, 2, 2).

Число катушек (для проверки) $12 \cdot 6 = 72$.

в. Соединение катушечных групп и схемы обмоток

После того как, пользуясь приведенным выше чередованием катушечных групп, катушки соединены в катушечные группы, нам необходимо определить порядок включения катушечных групп каждой фазы. Ввиду того, что при дробном q чередование фаз такое же, как и при целом q, а именно

$$I, III, II, I, III, II, I, III, II \text{ и т. д.},$$

мы можем легко выделить, какие именно катушечные группы принадлежат к той или иной фазе.

Из чередования фаз видно, что, если принять, что первая катушечная группа принадлежит фазе I, то этой же фазе I будут принадлежать, так же как и при целом q, следующие катушечные группы:

$$1,\ (1+3)=4,\ (4+3)=7,\ (7+3)=10 \text{ и т. д.};$$

фазе II:

$3,\ (3+3)=6,\ (6+3)=9,\ (9+3)=12$ и т. д. катушечные группы;

фазе III:

$5,\ (5+3)=8,\ (8+3)=11,\ (11+3)=14$ и т. д. катушечные группы,

где 1, 3, 5 — начальные катушечные группы фаз.

Рассмотрим предыдущий пример.

$$2p=14;\ q=1\frac{5}{7}.$$

Чередование:

(1, 2, 2, 1, 2, 2, 2), (1, 2, 2, 1, 2, 2, 2), (1, 2, 2, 1, 2, 2, 2),
(1, 2, 2, 1, 2, 2, 2), (1, 2, 2, 1, 2, 2, 2), (1, 2, 2, 1, 2, 2, 2).

Подчеркнем одной чертой катушечные группы фазы I, двумя чертами — катушечные группы фазы II, тремя чертами — катушечные группы фазы III и включим в квадрат начальные группы:

1 2 2 1 2 2 2 1 2 2 1 2 2 2 1 2 2 1 2 2 2

1 2 2 1 2 2 2 1 2 2 1 2 2 2 1 2 2 1 2 2 2

Для упрощения схемы мы поступим в дальнейшем так же, как поступили при q целом, т. е. расположим катушечные группы в вертикальные столбцы, начиная с первой катушечной группы всех трех фаз (см. табл. 5).

Здесь римскими цифрами обозначены номера катушечных групп в том порядке, в котором они соединяются в каждой фазе. Числа, заключенные в квадраты, показывают порядковый номер катушечной группы или концов в порядке расположения их во всей обмотке.

Таблица 5

Фаза *I*		Фаза *II*		Фаза *III*		№ п/п кат. группы
1	1	3	2	5	2	I
4	1	6	2	8	1	II
7	2	9	2	11	1	III
10	2	12	2	14	2	IV
13	2	15	1	17	2	V
16	2	18	1	20	2	VI
19	2	21	2	23	2	VII
22	1	24	2	26	2	VIII
25	1	27	2	29	1	IX
28	2	30	2	32	1	X
31	2	33	2	35	2	XI
34	2	36	1	38	2	XII
37	2	39	1	41	2	XIII
40	2	42	2	2	2	XIV

Числа, не заключенные в квадраты, показывают число катушек в данной катушечной группе.

На рис. 135 приведена схема катушечных групп, разбитых на фазы с указанием числа катушек в каждой; она отличается от схемы рис. 121 только тем, что в каждой катушечной группе обозначено число катушек.

Из таблицы и рис. 135 видно, что в каждую фазу вошли все катушечные группы, указанные в основном ряду: 1, 2, 2, 1, 2, 2, 2, по два раза, что объясняется тем, что общее число катушечных групп равно числу рядов, умноженному на число катушечных групп в ряду.

Число рядов равно

$$\frac{2pm}{d} = \frac{14 \cdot 3}{7} = 6;$$

на каждую фазу приходится число катушек, равное $\frac{6}{3}$ и умноженное на число катушечных групп в ряду.

Кроме того, так как число катушечных групп в ряду равно знаменателю дробности d, а в одну и ту же фазу включаются катушечные группы с пропуском каждый раз по две группы, т. е. 1, 4, 7 и т. д., то в каждую фазу войдут все катушечные группы ряда, что и является признаком симметричности обмотки.

Совсем другое получается в тех случаях, когда знаменатель дробности равен или кратен 3.

Действительно, при $d = 3$ число катушечных групп в ряду будет равно 3.

Так, например, если $q = 1\frac{1}{3}$, то ряд будет иметь следующий вид:

(1, 1, 2), (1, 1, 2), (1, 1, 2), (1, 1, 2) и т. д.

Рис. 135. Катушечные группы упрощенной схемы.

Подчеркивая катушечные группы, принадлежащие каждой фазе, получим:

1 1 2 1 1 2 1 1 2 1 1 2 1 1 2 и т. д.

Отсюда мы видим, что в том случае, когда знаменатель дробности $d = 3$, в одну и ту же фазу попадают однородные катушечные группы:

в фазу *I* — ординарные
в » *II* — двойные
в » *III* — ординарные

Это показывает, что в фазе *II* число катушек будет в два раза больше, чем в фазах *I* и *III*.

Предположим теперь, что $q = 1\frac{1}{6}$.

Ряд будет иметь $d = 6$ катушечных групп:

$$1,\ 1,\ 1,\ 1,\ 1,\ 2.$$

Полный ряд:

1 1 1 1 1 2   1 1 1 1 1 2   1 1 1 1 1 2   1 1 1 1 1 2
− ≡ = − ≡ =   − ≡ = − ≡ =   − ≡ = − ≡ =   − ≡ = − ≡ =

и т. д.

Ряд показывает, что и в этом случае число катушек в фазе *II* будет больше, чем в фазах *I* и *III*.

Таким образом, для того чтобы обмотка была симметричной, необходимо, чтобы $\frac{2p}{ad}$ равнялось целому числу и знаменатель дробности d не был кратным или равным 3.

Переходя к вопросу соединения катушечных групп, отметим, что в основном это соединение остается тем же, что и при целом q, и отличается только тем, что при образовании параллельных ветвей нужно следить не только за тем, чтобы число катушечных групп было одинаковым в каждой параллельной ветви, но и за тем, чтобы в каждую параллельную ветвь входило одинаковое количество одинаковых катушечных групп.

а. Все катушечные группы соединены последовательно ($a = 1$).

Вполне очевидно, что в этом соединении схема остается той же, что и при целом q (см. рис. 125, 126).

б. Все катушечные группы соединены параллельно ($a = 2p$)

Так как для симметричной обмотки нужно выполнить условие

$$\frac{2p}{ad} = \text{целое число} = E,$$

откуда

$$2p = Ead,$$

то при $a = 2p$

$$2p = Ead = E2pd,$$

$$1 = Ed,$$

откуда

$$d = \frac{1}{E},$$

т. е. знаменатель дробности должен быть меньше единицы, — обмотка невыполнима.

Это будет понятно и в том случае, если мы будем рассматривать рис. 129 и 130, на которых приведены схемы параллельного соединения всех катушечных групп при целом q.

Действительно, при дробном q число катушек в катушечных группах меняется от b до $(b + 1)$, т. е. в одних параллельных ветвях число катушек будет равно b, а в других — $(b + 1)$, в то время как тре-

буется, чтобы каждая параллельная ветвь имела одно и **то же число** катушек. Это приводит к заключению, что при дробном q нельзя получить $a = 2p$.

При выборе числа параллельных ветвей a нужно пользоваться основным выражением симметрии обмотки, а именно

$$\frac{2p}{ad} \text{ должно быть целым числом.}$$

в. Число параллельных ветвей $a = 2$

1) Четырехполюсная машина ($2p = 4$):

$$\frac{2p}{ad} = \frac{4}{ad} = \frac{2}{d} \text{ должно быть целым числом.}$$

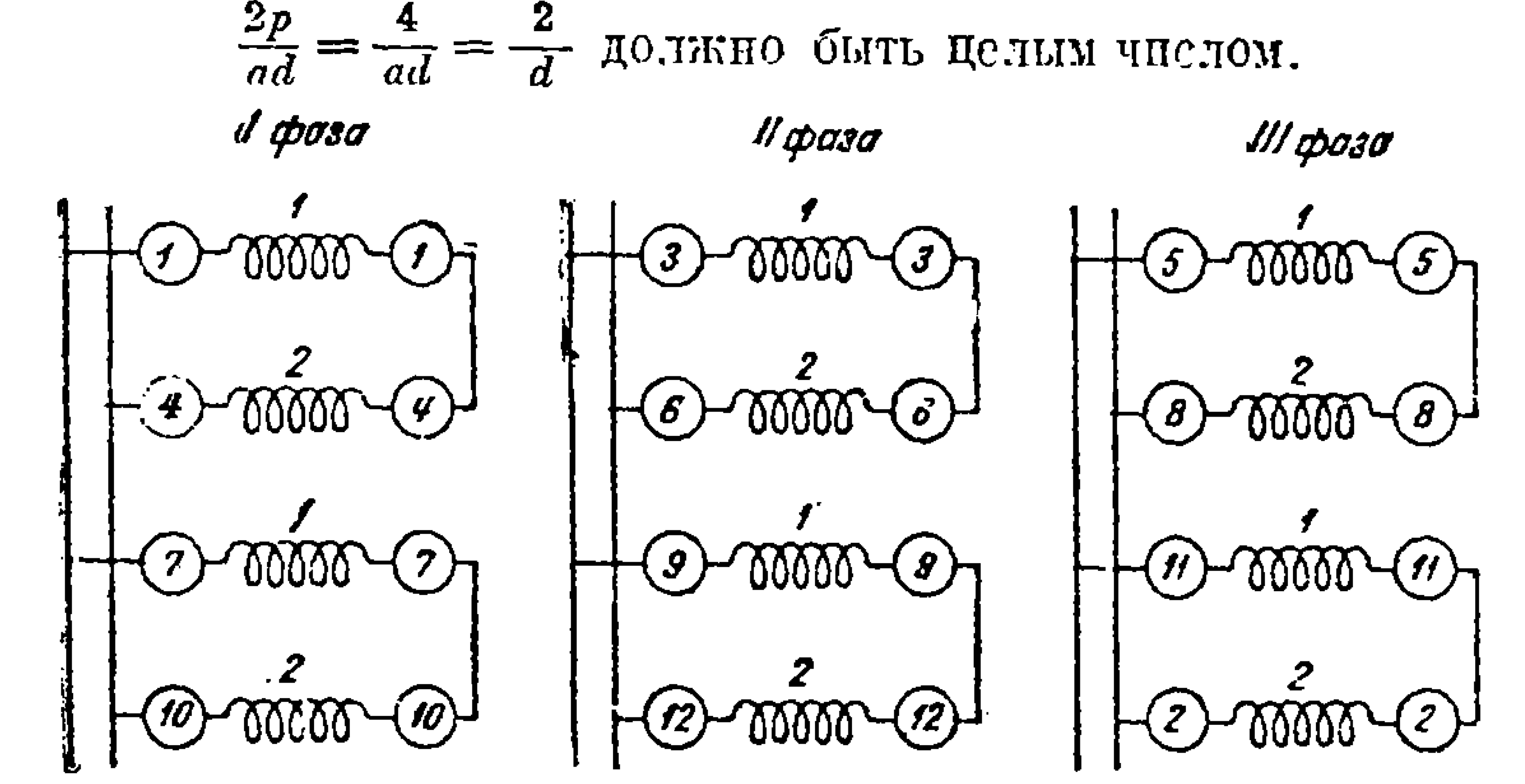


Рис. 136. Схема обмотки с $2p = 4$; $q = 1^1/_2$ и $a = 2$.

Таким образом при $2p = 4$ симметричная обмотка при $a = 2$ получается только в том случае, если знаменатель дробности d равен 2, т. е. при

$$q = 1\frac{1}{2};\quad q = 2\frac{1}{2};\quad q = 3\frac{1}{2} \text{ и т. д.}$$

На рис. 136 изображена схема обмотки при

$$2p = 4,\quad q = 1\frac{1}{2}.$$

Чередование:

$$\underline{1},\ \underline{\underline{\underline{2}}},\ \underline{\underline{1}},\ \underline{2},\ \underline{\underline{\underline{1}}},\ \underline{\underline{2}},\ \underline{1},\ \underline{\underline{\underline{2}}},\ \underline{\underline{1}},\ \underline{2},\ \underline{\underline{\underline{1}}},\ \underline{\underline{2}}.$$

Ввиду того, что в четырехполюсной машине в каждой фазе имеется всего 4 катушечных группы, из которых 2 ординарных и 2 двойных,— делать соединение аналогично рис. 131, т. е. распределять катушечные группы каждой параллельной ветви более равномерно (включать их через одну), не представляется возможным. Действительно, катушечную группу *1* мы не можем соединить с катушечной группой *7*, так как она имеет тоже одну катушку. Поэтому нам остается соединить катушечную группу *1* с группой *4* или с *10*. Но *4* и *10* являются соседними катушечными группами с группой *1*, а поэтому и приходится отказываться от соединения, аналогичного рис. 131.

2) Шестиполюсная машина ($2p=6$):

$$\frac{2p}{ad}=\frac{6}{2d}=\frac{3}{d}.$$

Для того чтобы обмотка была симметричной, нужно, чтобы $\frac{3}{d}$ было целым числом.

Это возможно только при $d=3$, что, в свою очередь, приводит к несимметричной обмотке.

На рис. 137 показаны катушечные группы в предположении, что

$$q=1\frac{1}{2}$$

или

$$\frac{3}{d}=\frac{3}{2}=1\frac{1}{2}\text{ — нецелое число.}$$

Из рис. 137 видно, что каждая фаза имеет:

3 катушечные группы по $b=1$ катушке
3 » » » $b+1=1+1=2$ катушки.

Рис. 137. Катушечные группы при $2p=6$ и $q=1^1/_2$.

Для того чтобы число катушек в каждой параллельной ветви было одинаковым, нужно, чтобы число обеих катушечных групп делилось на a. В нашем случае эти числа не делятся на a, поэтому обмотка получается несимметричной, что подтверждает правильность условия симметрии.

3) Восьмиполюсная машина ($2p=8$):

$$\frac{2p}{ad}=\frac{8}{2d}=\frac{4}{d}.$$

В этом случае можно получить симметричную обмотку при $d=2$ и $d=4$, например при $q=1\frac{1}{2}$, $q=1\frac{1}{4}$ и $q=1\frac{3}{4}$.

Пример. $2p=8$, $q=1\frac{1}{2}$, $a=2$, $Z=2pmq=8\cdot3\cdot1^1/_2=36$ (см. рис. 138).

Чередование:

1 2 1 2 1 2 1 2 1 2 1 2 1 2 1 2 1 2 1 2 1 2 1 2

В этом случае, если бы мы захотели, придерживаясь рис. 131, включать в одну параллельную ветвь катушечные группы через одну,

получили бы, что в одной параллельной ветви все катушечные группы— ординарные (*1*, *7*, *13* и *19*), а в другой — все двойные (*4*, *10*, *16* и *22*; см. рис. 138). Таким образом видим, что в этом случае мы уже не можем соединять по схеме рис. 131, т. е. так же, как при целом числе пазов на полюс и фазу. Здесь приходится несколько видоизменить схему, а именно катушечные группы *1* и *7* включить так же, как и на рис. 131, а следующую двойную катушечную группу *16* взять не через одну, а через две катушечные группы, присоединив затем к ней последовательно двойную группу *22*. Этим самым мы включаем в параллельную ветвь две ординарные и две двойные катушечные группы и достигаем их более равномерного распределения, что наглядно показано на рис. 139.

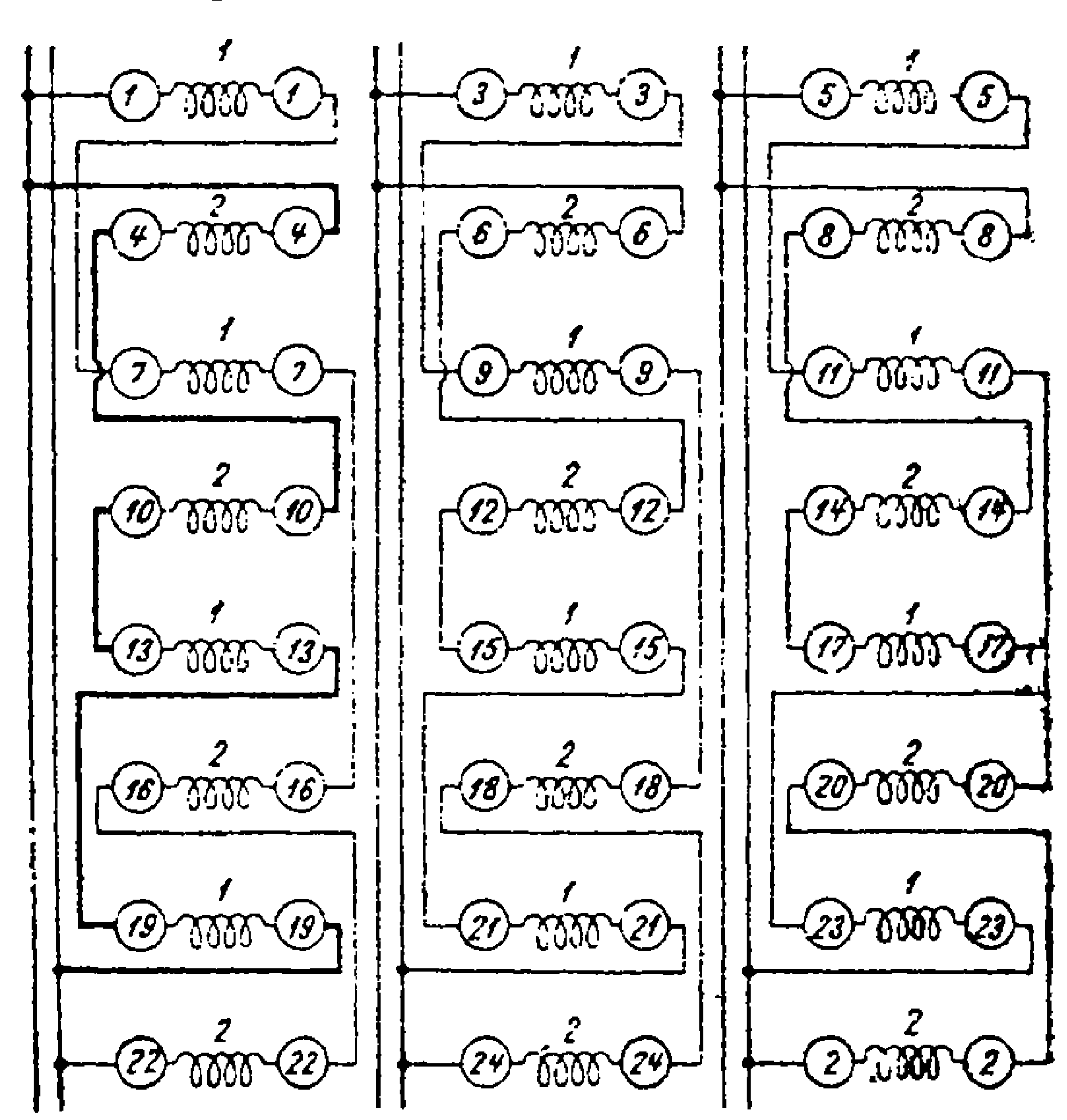


Рис. 138. Схема обмотки при $2p = 8$; $q = 1^1/_2$; $a = 2$.

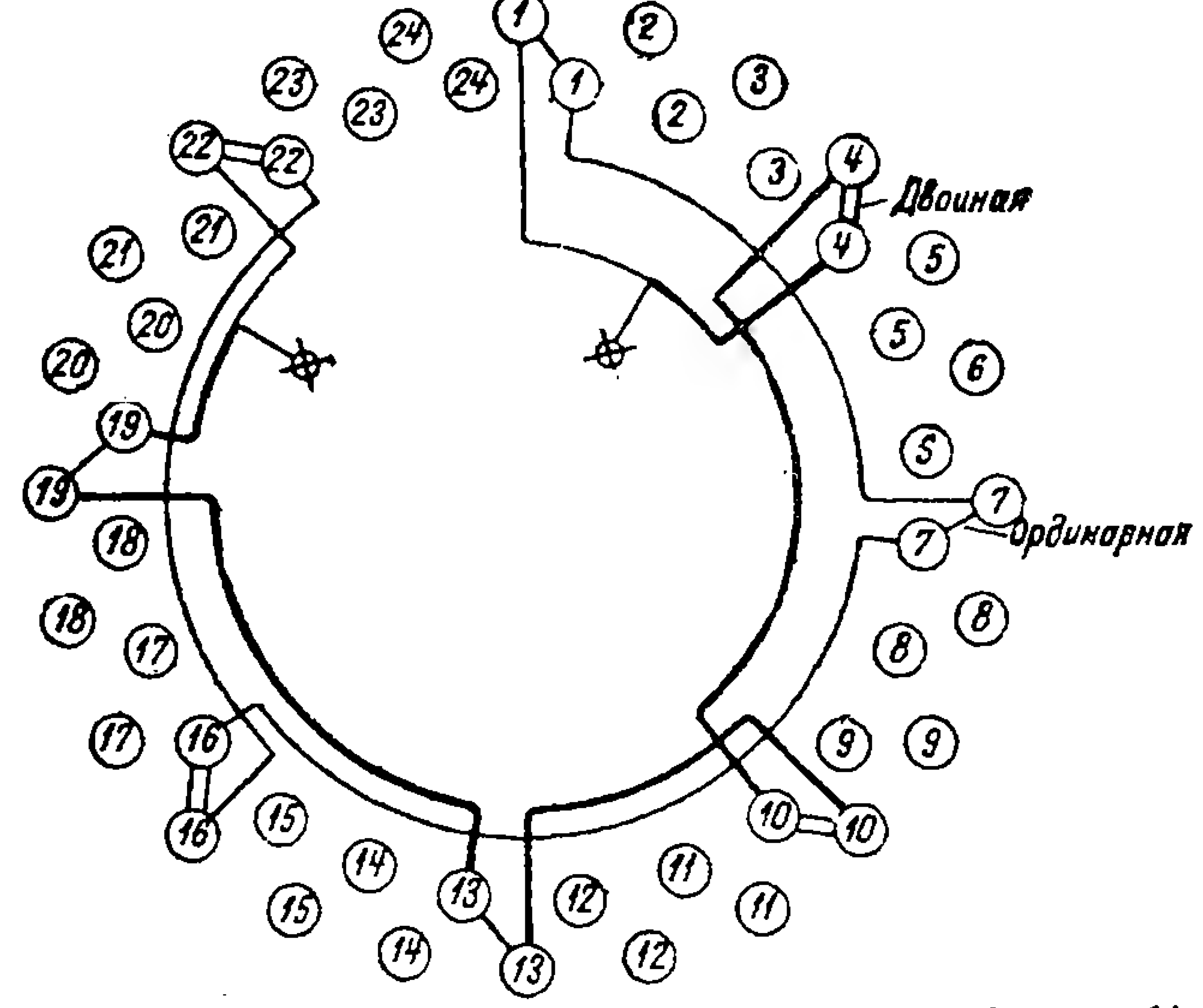


Рис. 139. Развернутая схема обмотки при $2p = 8$; $q = 1^1/_2$ и $a = 2$.

На рис. 139 изображена развернутая схема соединения катушечных групп одной фазы, причем одна ветвь обозначена тонкими линиями, а другая — более толстыми.

Рис. 140. Видоизмененная схема рис. 138.

Это же соединение можно выполнить несколько иначе, не меняя в параллельной ветви катушечных групп. Например, на рис. 140 и 141 верхний конец катушечной группы *1* соединяется не с нижним концом группы *4*, а с верхним концом группы *19*. Конец одной параллельной ветви группы *22* в этом случае соединяется не с нижним концом группы *19*, а с верхним концом группы *4*. Это вносит некоторое изменение и в само соединение катушечных групп. Обе схемы (рис. 138 и 140) равноценны, и останавливаются на той или иной схеме, в зависимости от удобства укладки в данной машине соединительных проводников.

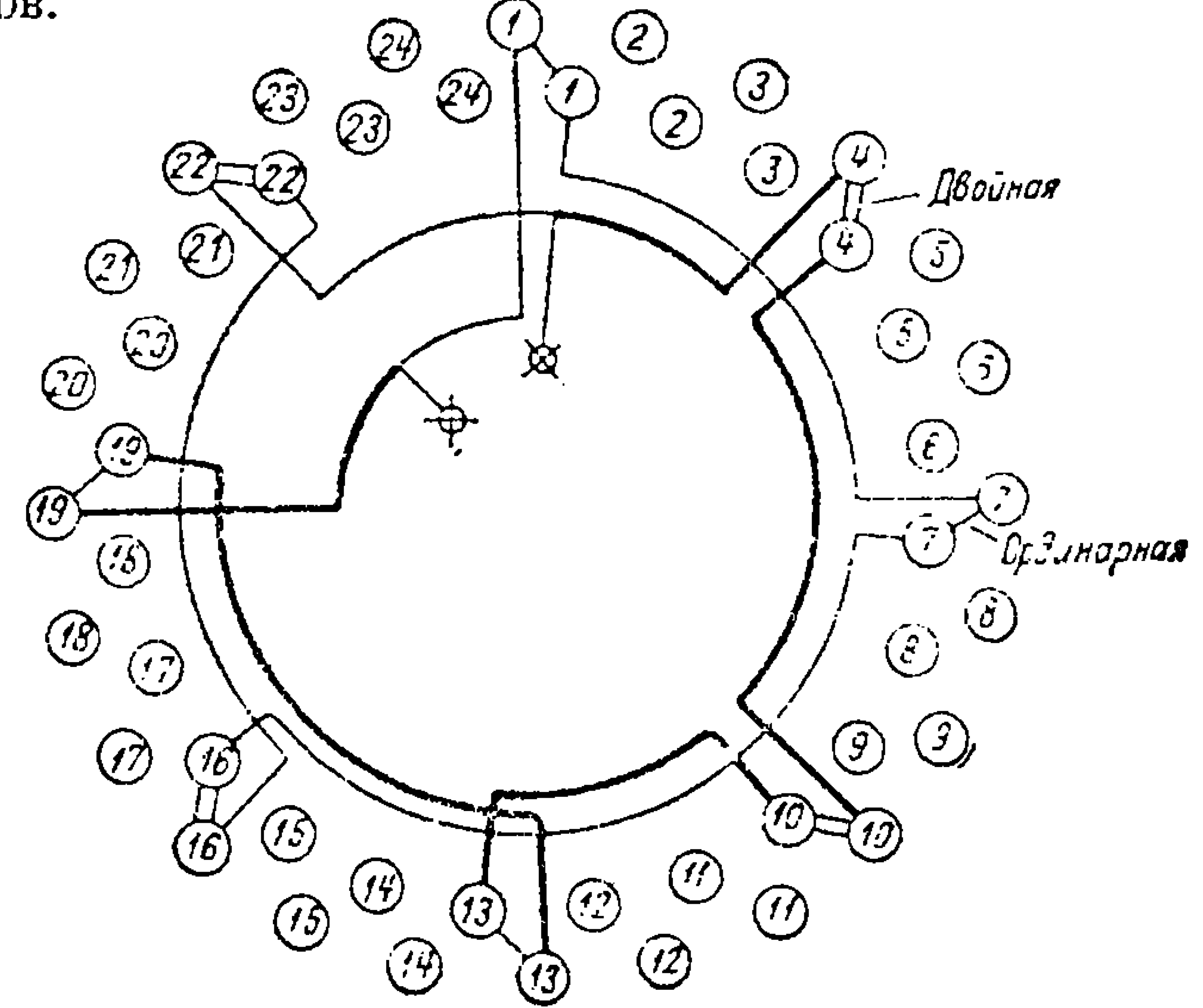


Рис. 141. Видоизмененная схема рис. 139.

Пример. $2p = 8$, $q = 1\frac{1}{4}$, $a = 2$, $2pmq = 8 \cdot 3 \cdot 1\frac{1}{4} = 30$.

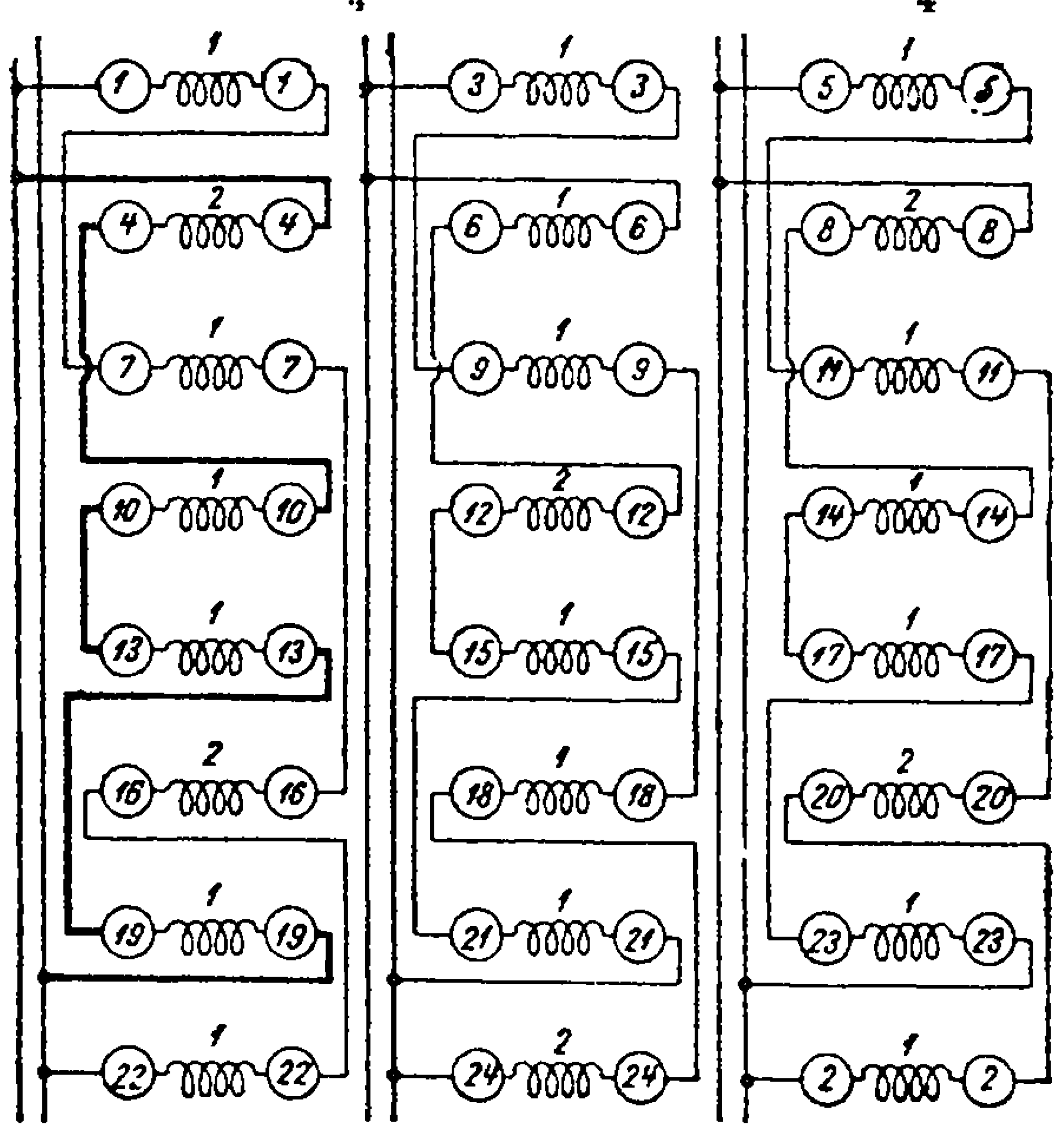


Рис. 142. Схема обмотки при $2p = 8$; $q = 1^1/_2$; $a = 2$ и чередовании 1, 1, 1, 2 1, 1, 1, 2 и т. д.

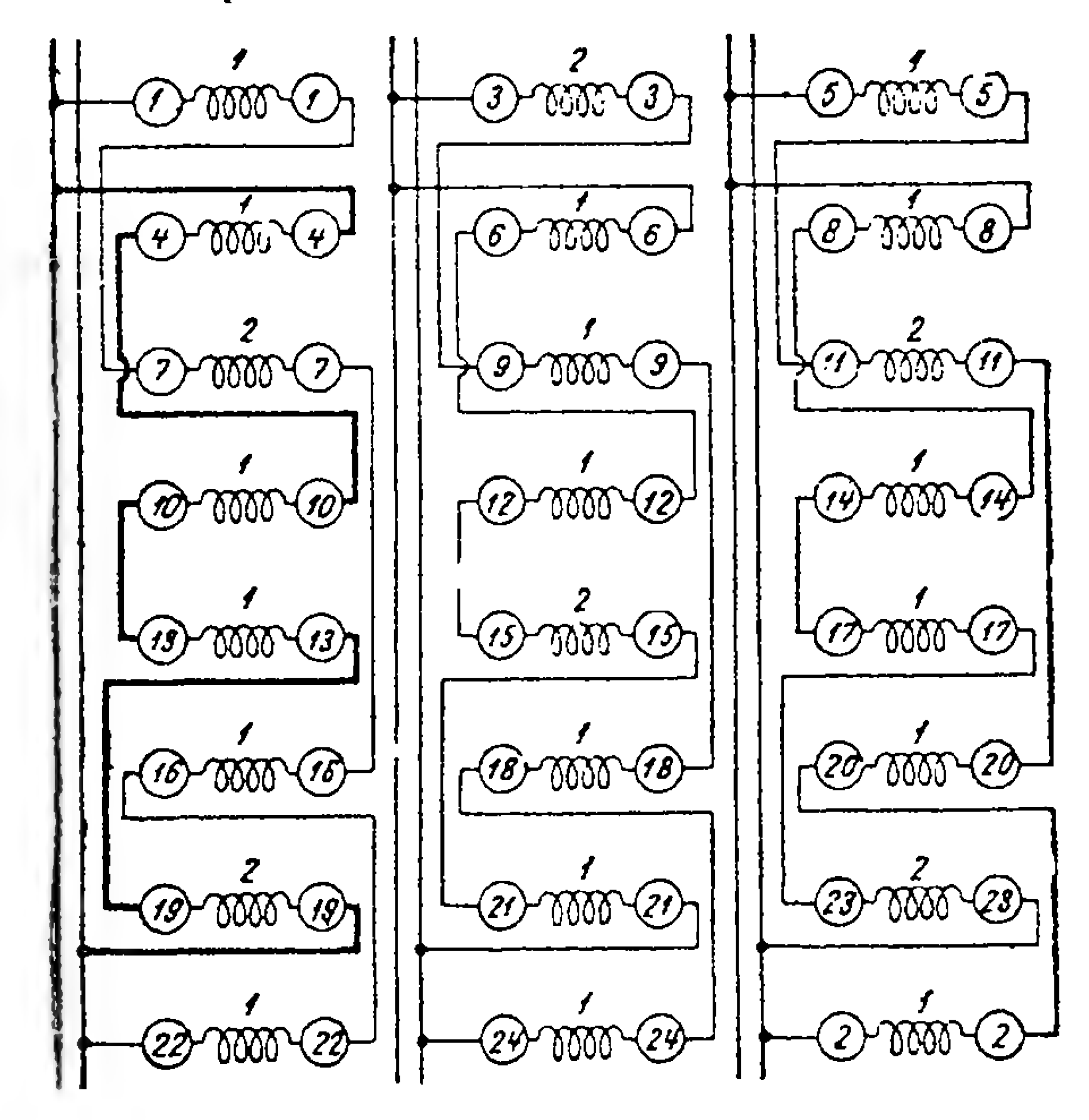


Рис. 143. Схема обмотки при $2p = 8$; $q = 1^1/_2$; $a = 2$ и чередовании 1, 1, 2, 1, 1, 1, 2, 1 и т. д.

В этом примере возможны следующие чередования:

1 1 1 2 1 1 1 2 1 1 1 2 1 1 1 2 1 1 1 2 1 1 1 2 (см. рис. 142),

или

1 1 2 1 1 1 2 1 1 1 2 1 1 1 2 1 1 1 2 1 1 1 2 1 (см. рис. 143),

или

1 2 1 1 1 2 1 1 1 2 1 1 1 2 1 1 1 2 1 1 1 2 1 1 (см. рис. 144).

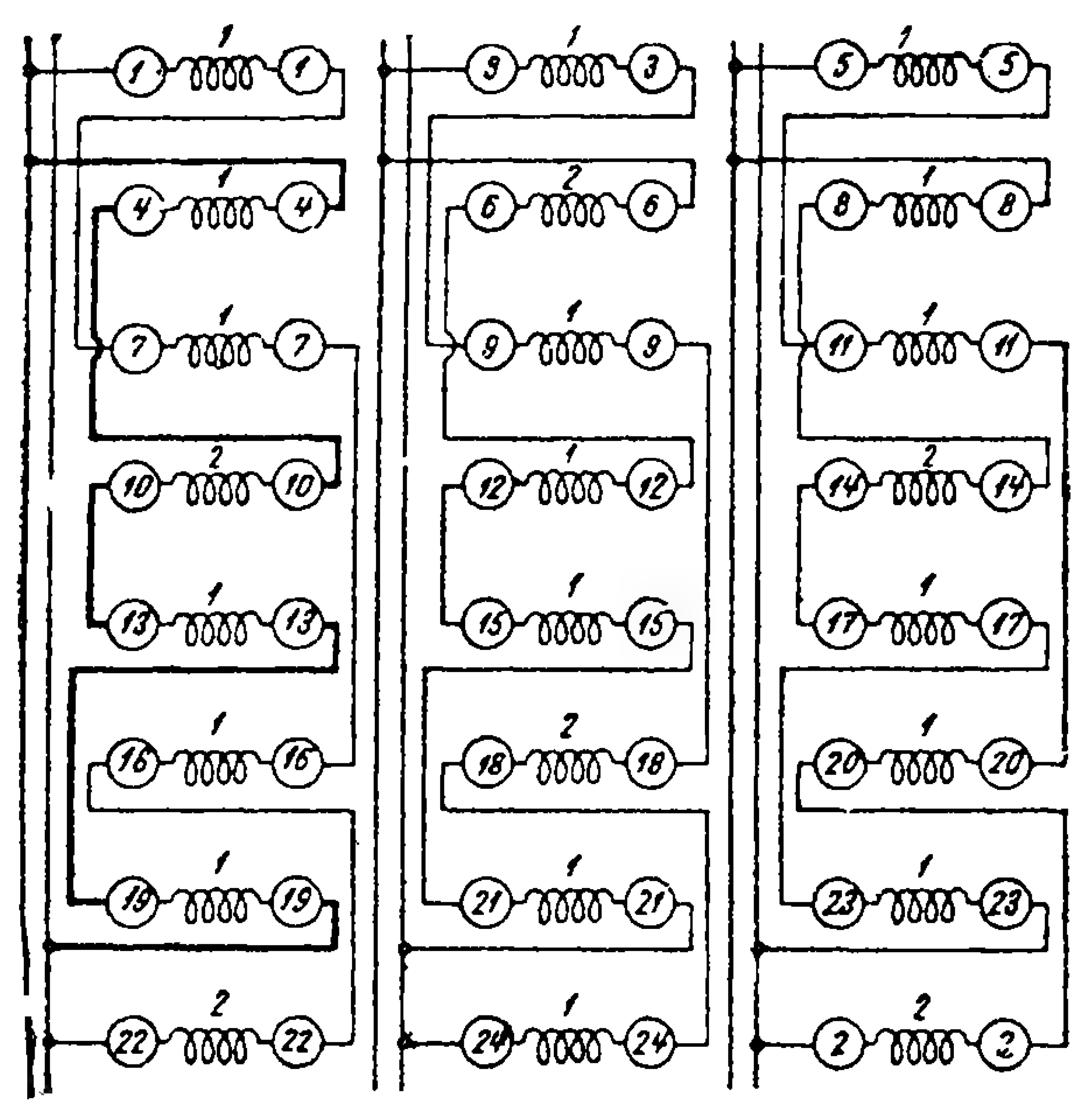


Рис. 144. Схема обмотки при $2p = 8$; $q = 1^1/_2$; $a = 2$ и чередовании 1, 2, 1, 1 1, 2, 1, 1 и т. д.

Из рис. 142—144 мы видим, что при любом возможном чередовании катушечных групп число катушек в параллельных ветвях остается равным, поэтому для всех чередований схема остается одной и той же.

4) Десятиполюсная машина:

$$\frac{2p}{ad} = \frac{10}{2d} = \frac{5}{d}.$$

Симметричная обмотка возможна только при знаменателе дробности $d = 5$, т. е. при $q = 1\frac{1}{5}$, $1\frac{2}{5}$, $1\frac{4}{5}$, $2\frac{1}{5}$ и т. д.

Пример. $2p = 10$, $q = 2\frac{4}{5}$, $a = 2$, $Z = 2pmq = 10 \cdot 3 \cdot 2\frac{4}{5} = 84$ (см. рис. 145).

Чередование:

2 3 3 3 3 2 3 3 3 3 2 3 3 3 3 2 3 3 3 3 2 3 3 3 3 2 3 3 3 3

В этом случае мы можем применить схему, подобную рис. 131.

5) Четырнадцатиполюсная машина:

$$\frac{2p}{ad} = \frac{14}{2d} = \frac{7}{d}.$$

Симметричная обмотка возможна только при знаменателе дробности $d = 7$, т. е. при $q = 1\frac{1}{7}$, $1\frac{2}{7}$, $1\frac{3}{7}$, $1\frac{4}{7}$, $1\frac{5}{7}$, $1\frac{6}{7}$, $2\frac{1}{7}$, $2\frac{2}{7}$ и т. д.

Из рассмотрения этих примеров можно заключить, что симметричная обмотка при $a=2$ может быть только в том случае, если $\frac{p}{d}$ равняется целому числу.

Таким образом симметричная обмотка при $a=2$ возможна в машинах с $2p=4$ только при $d=2$, т. е. $q=1\frac{1}{2}$, $2\frac{1}{2}$ и т. д.;

при $2p=6$ симметричная обмотка невозможна;

для $2p=8$ — только при $d=2$ и $d=4$, т. е. при $q=1\frac{1}{2}$, $2\frac{1}{2}$ и т. д.; $q=1\frac{1}{4}$, $2\frac{1}{4}$ и т. д. и $q=1\frac{3}{4}$, $2\frac{3}{4}$ и т. д.;

для $2p=10$ — только при $d=5$, т. е. при $q=1\frac{1}{5}$, $1\frac{2}{5}$, $1\frac{3}{5}$, $1\frac{4}{5}$, $2\frac{1}{5}$;

для $2p=12$ симметричная обмотка невозможна;

для $2p=14$ — только при $d=7$, т. е. $q=1\frac{1}{7}$, $1\frac{2}{7}$ и т. д.;

для $2p=16$ — только при $d=2$, т. е. $q=1\frac{1}{2}$, $2\frac{1}{2}$ и т. д.;

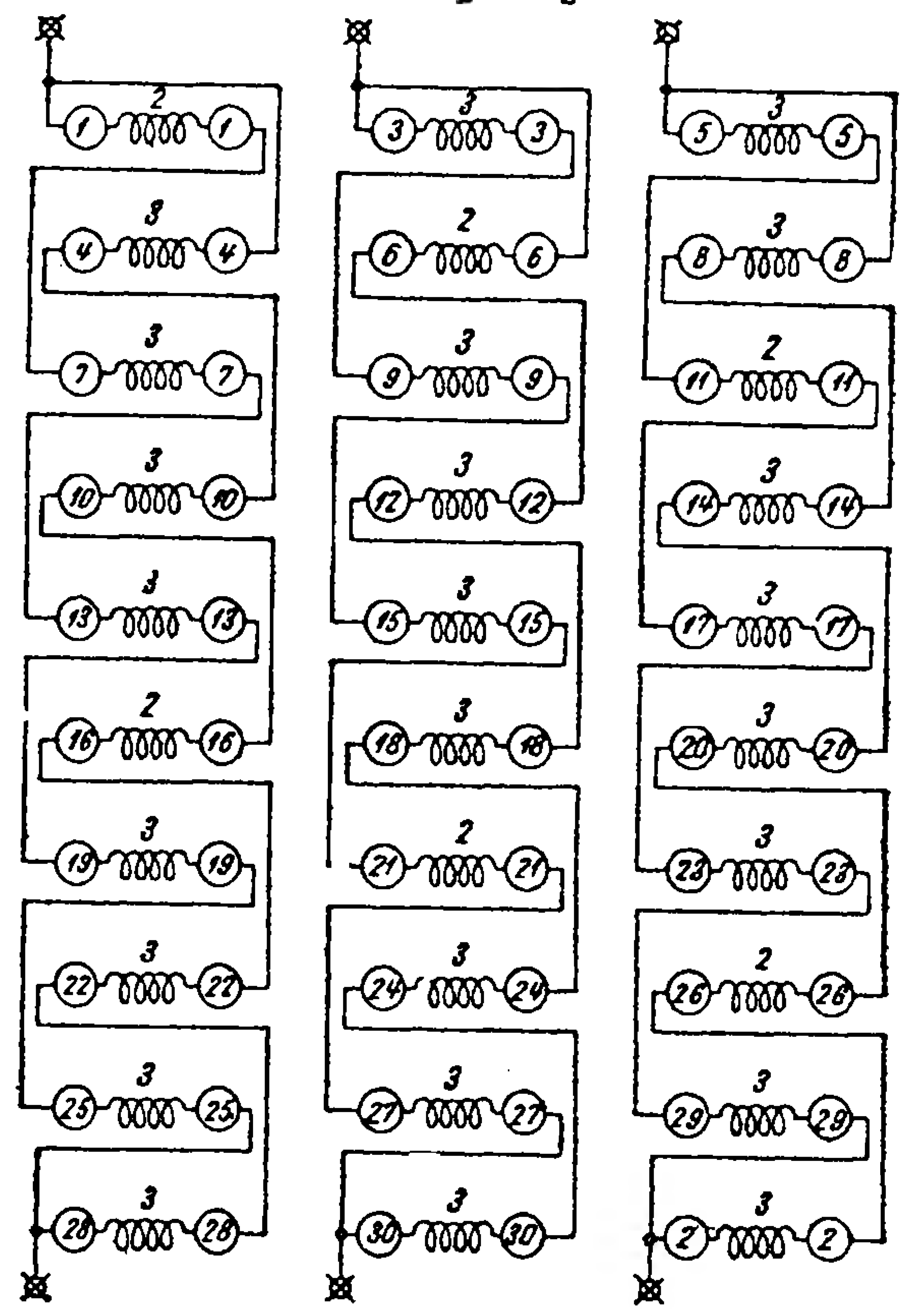


Рис. 145. Схема обмотки при $2p = 10$; $q = 2^4/_5$; $a = 2$ и чередовании 2, 3, 3, 3 2, 3, 3, 3 и т. д.

при $d=4$, т. е. $q=1\frac{1}{4}$, $1\frac{3}{4}$ и т. д.; при $d=8$, т. е. $q=1\frac{1}{8}$, $1\frac{3}{8}$ и т. д.

При этом во всех случаях, когда знаменатель дробности равен нечетному числу (5, 7, 11, 13 и т. д.), схема остается аналогичной схеме при целом q (рис. 131).

При знаменателе дробности d, равном четному числу, необходимо в каждом отдельном случае предварительно составить схему наподобие рис. 138, 140, 142, 143 и 144.

г. Число параллельных ветвей $a = 3$

1). Четырехполюсная обмотка:

$$\frac{2p}{ad} = \frac{4}{3d} \neq \text{целому числу.}$$

Симметричная обмотка невозможна.

2) Шестиполюсная обмотка:

$$\frac{2p}{ad} = \frac{6}{3d} = \frac{2}{d}.$$

Симметричная обмотка возможна только при знаменателе дробности $d = 2$, т. е. при $q = 1\frac{1}{2}$, $2\frac{1}{2}$ и т. д.

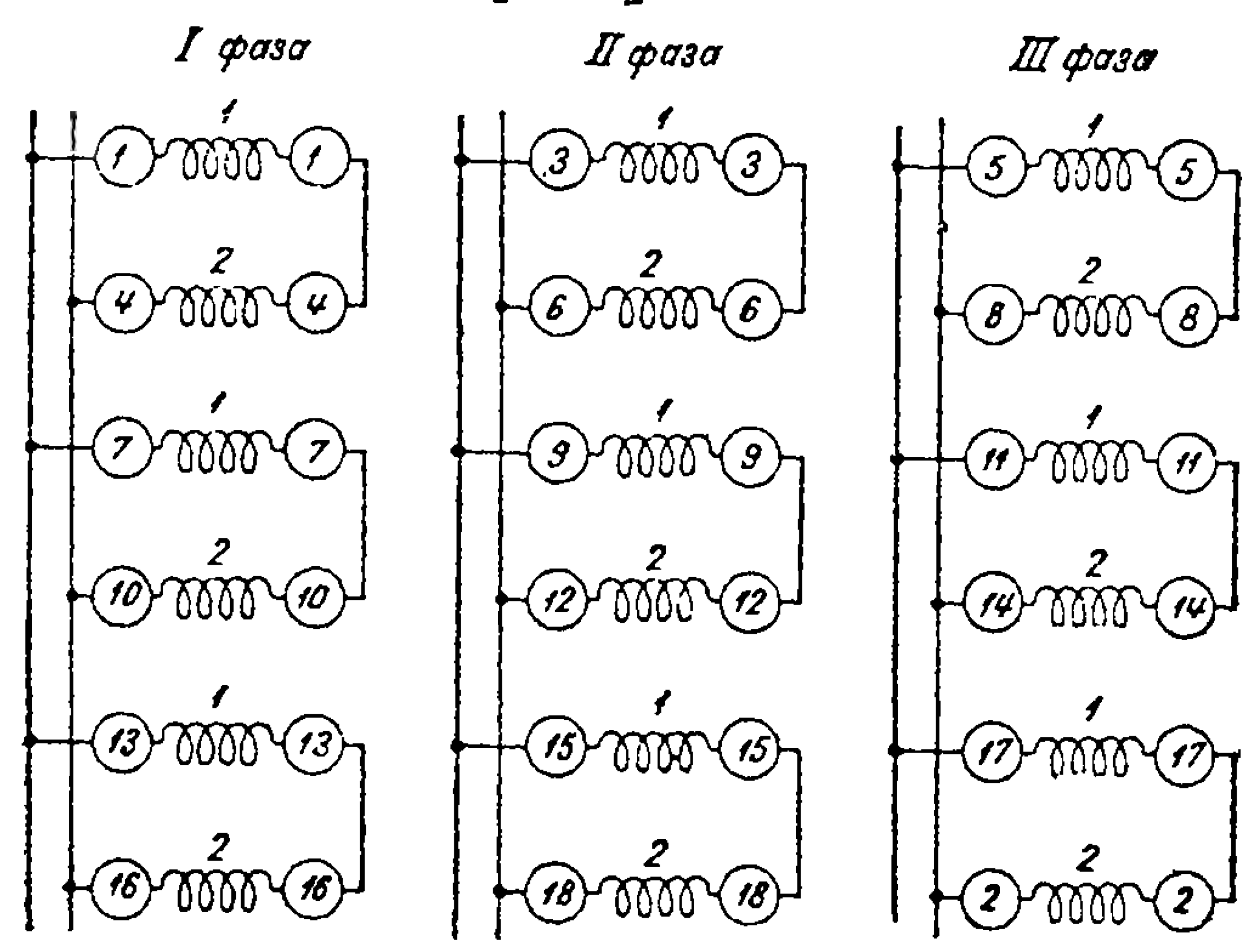


Рис. 146. Схема обмотки при $2p = 6$; $q = 1^1/_2$; $a = 3$ и чередовании 1, 2, 1, 2 и т. д.

Упрощенная схема обмотки с $q = 1\frac{1}{2}$ показана на рис. 146, а полная — на рис. 147. Фазы соединены в звезду.

3) Восьмиполюсная обмотка:

$$\frac{2p}{ad} = \frac{8}{3d} \neq \text{целому числу.}$$

Симметричная обмотка невозможна.

4) Десятиполюсная обмотка:

$$\frac{2p}{ad} = \frac{10}{3d} \neq \text{целому числу.}$$

Симметричная обмотка невозможна.

5) Двенадцатиполюсная обмотка:

$$\frac{2p}{ad} = \frac{12}{3d} = \frac{4}{d}.$$

Симметричная обмотка возможна только при знаменателе дробности $d=2$, т. е. при $q=1\frac{1}{2}$, $2\frac{1}{2}$ и т. д. и при $d=4$, т. е. при $q=1\frac{1}{4}$, $1\frac{3}{4}$, $2\frac{1}{4}$ и т. д.

На рис. 148 показана схема обмотки при $2p=12$, $q=1\frac{3}{4}$, $a=3$, $Z=2pmq=12\cdot 3\cdot 1\frac{3}{4}=63$.

Чередование:

1 2 2 2 1 2 2 2 1 2 2 2 1 2 2 2 1 2 2 2 1 2 2 2

1 2 2 2 1 2 2 2 1 2 2 2.

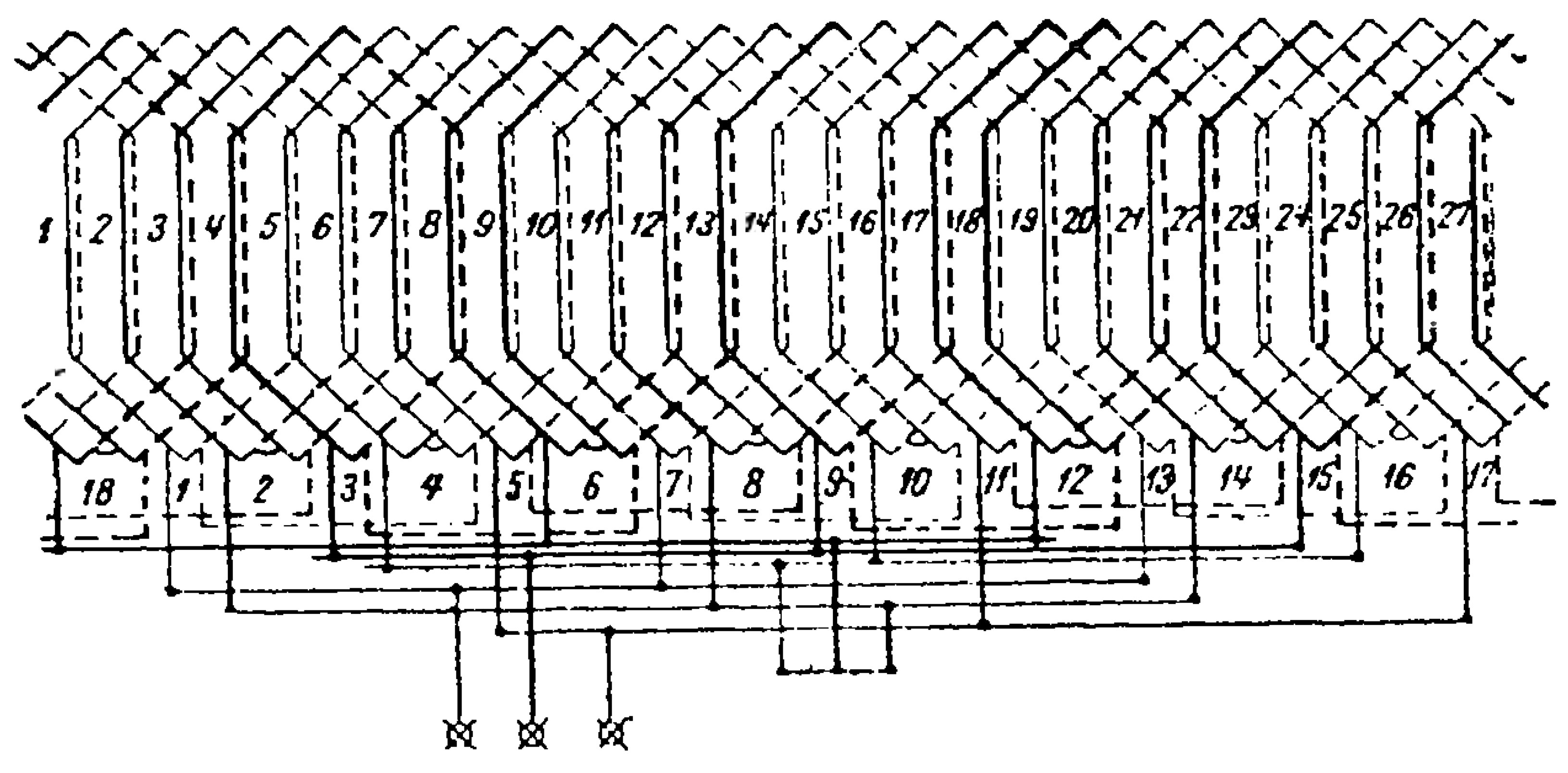


Рис. 147. Развернутая схема обмотки при $2p=6$; $q=1\frac{1}{2}$; $a=3$. Сопряжение фаз звездой. Чередование 1, 2, 1, 2 и т. д.

Из рассмотрения этих примеров видно, что симметричную обмотку с $a=3$ можно выполнить только в машинах, у которых $2p=6$, 12, 18 и т. д., так как только в этих машинах число катушечных групп фазы делится на $a=3$ и на каждую параллельную ветвь приходится по целому числу катушечных групп.

д. Число параллельных ветвей $a=4$.

1) Четырехполюсная обмотка:

$$\frac{2p}{ad}=\frac{4}{4d}\neq \text{целому числу.}$$

Симметричная обмотка возможна только при целом q.

2) Шестиполюсная обмотка:

$$\frac{2p}{ad}=\frac{6}{4d}\neq \text{целому числу.}$$

Симметричная обмотка невозможна.

3) Восьмиполюсная обмотка:

$$\frac{2p}{ad} = \frac{8}{4d} = \frac{2}{d}.$$

Симметричная обмотка возможна только при знаменателе $d = 2$, т. е. при $q = 1\frac{1}{2}$, $2\frac{1}{2}$ и т. д.

Схема будет аналогична схеме рис. 146.

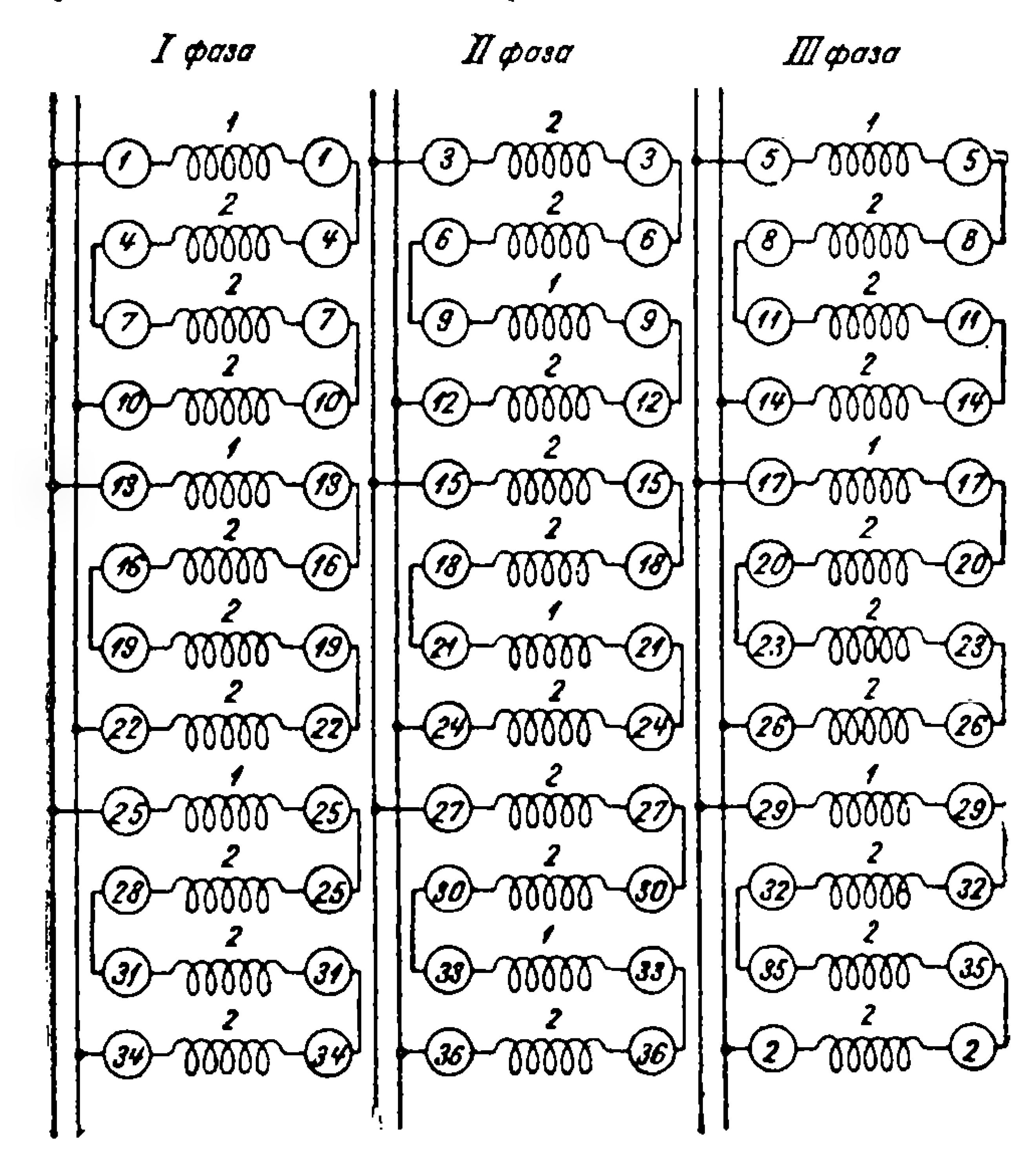


Рис. 148. Схема обмотки при $2p = 12$; $q = 1\frac{3}{4}$; $a = 3$ и чередовании 1, 2, 2, 2 1, 2, 2, 2 и т. д.

4) Десятиполюсная обмотка:

$$\frac{2p}{ad} = \frac{10}{4d} \neq \text{целому числу.}$$

Симметричная обмотка невозможна.

5) Двенадцатиполюсная обмотка:

$$\frac{2p}{ad} = \frac{12}{4d} = \frac{3}{d}.$$

Симметричная обмотка невозможна, так как знаменатель дробности d должен быть равен 3, что противоречит симметрии.

6) Четырнадцатиполюсная обмотка:

$$\frac{2p}{ad}=\frac{14}{4d}=\frac{7}{2d}\neq \text{целому числу.}$$

Симметричная обмотка невозможна.

7) Шестнадцатиполюсная обмотка:

$$\frac{2p}{ad}=\frac{16}{4d}=\frac{4}{d}.$$

Симметричная обмотка возможна только при знаменателе дробности $d=2$, т. е. при $q=1\frac{1}{2}$, $2\frac{1}{2}$ и т. д. и при $d=4$, т. е. при $q=1\frac{1}{4}$, $1\frac{3}{4}$, $2\frac{1}{4}$, $2\frac{3}{4}$ и т. д.

Схема будет аналогична схеме рис. 148. Таким образом симметричная обмотка с $a=4$ возможна только в машинах с $2p=8$, 16, 24 и т. д.

е. Число параллельных ветвей $a=5$

1) Четырехполюсная обмотка:

$$\frac{2p}{ad}=\frac{4}{5d}\neq \text{целому числу.}$$

Симметричная обмотка невозможна.

2) Шестиполюсная обмотка:

$$\frac{2p}{ad}=\frac{6}{5d}\neq \text{целому числу.}$$

Симметричная обмотка невозможна.

3) Восьмиполюсная обмотка:

$$\frac{2p}{ad}=\frac{8}{5d}\neq \text{целому числу.}$$

Симметричная обмотка невозможна.

4) Десятиполюсная обмотка:

$$\frac{2p}{ad}=\frac{10}{5d}=\frac{2}{d}.$$

Симметричная обмотка возможна только при знаменателе дробности $d=2$, т. е. при $q=1\frac{1}{2}$, $2\frac{1}{2}$ и т. д. (см. рис. 149).

5) Двенадцатиполюсная обмотка:

$$\frac{2p}{ad}=\frac{12}{5d}\neq \text{целому числу.}$$

Симметричная обмотка невозможна.

6) Четырнадцатиполюсная обмотка:

$$\frac{2p}{ad} = \frac{14}{5d} \neq \text{целому числу.}$$

Симметричная обмотка невозможна.

7) Шестнадцатиполюсная обмотка:

$$\frac{2p}{ad} = \frac{16}{5d} \neq \text{целому числу.}$$

Симметричная обмотка невозможна

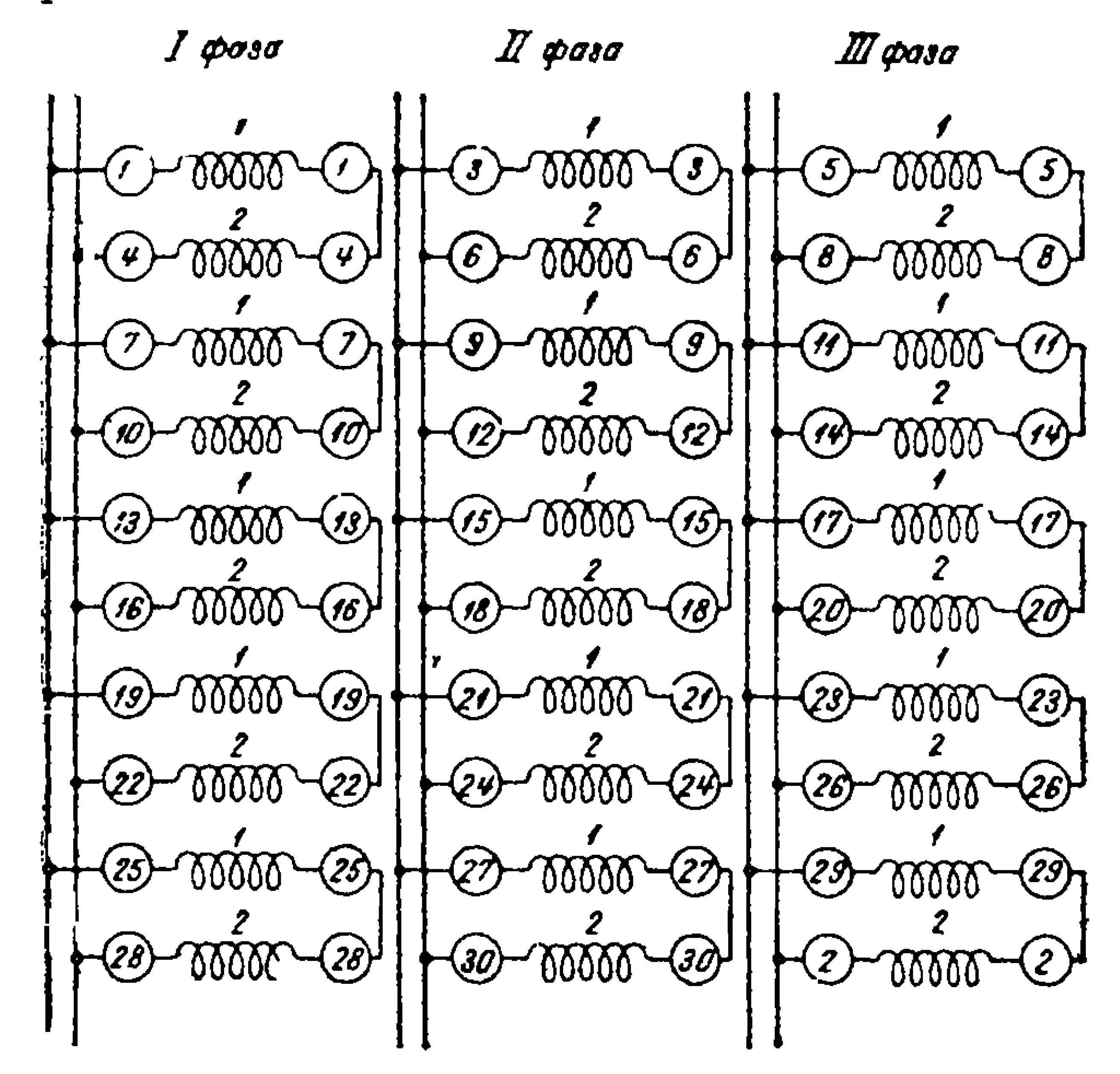


Рис. 149. Схема обмотки при $2p = 10$; $q = 1^1/_2$; $a = 5$ и чередовании 1, 2 1, 2 и т. д.

8) Восемнадцатиполюсная обмотка:

$$\frac{2p}{ad} = \frac{18}{5d} \neq \text{целому числу.}$$

Симметричная обмотка невозможна.

9) Двадцатиполюсная обмотка:

$$\frac{2p}{ad} = \frac{20}{5d} = \frac{4}{d}.$$

Симметричная обмотка возможна только при знаменателе дробности

$d = 2$, т. е. при $q = 1\frac{1}{2}$, $2\frac{1}{2}$ и т. д., и

$d = 4$, т. е. при $q = 1\frac{1}{4}$, $1\frac{3}{4}$, $2\frac{1}{4}$, $2\frac{3}{4}$ и т. д.

Схема будет аналогична схеме рис. 149.

Таким образом симметричную обмотку с $a = 5$ можно получить только в машинах с $2p = 10$, 20, 30 и т. д., в которых на каждую параллельную ветвь приходится по целому числу катушечных групп.

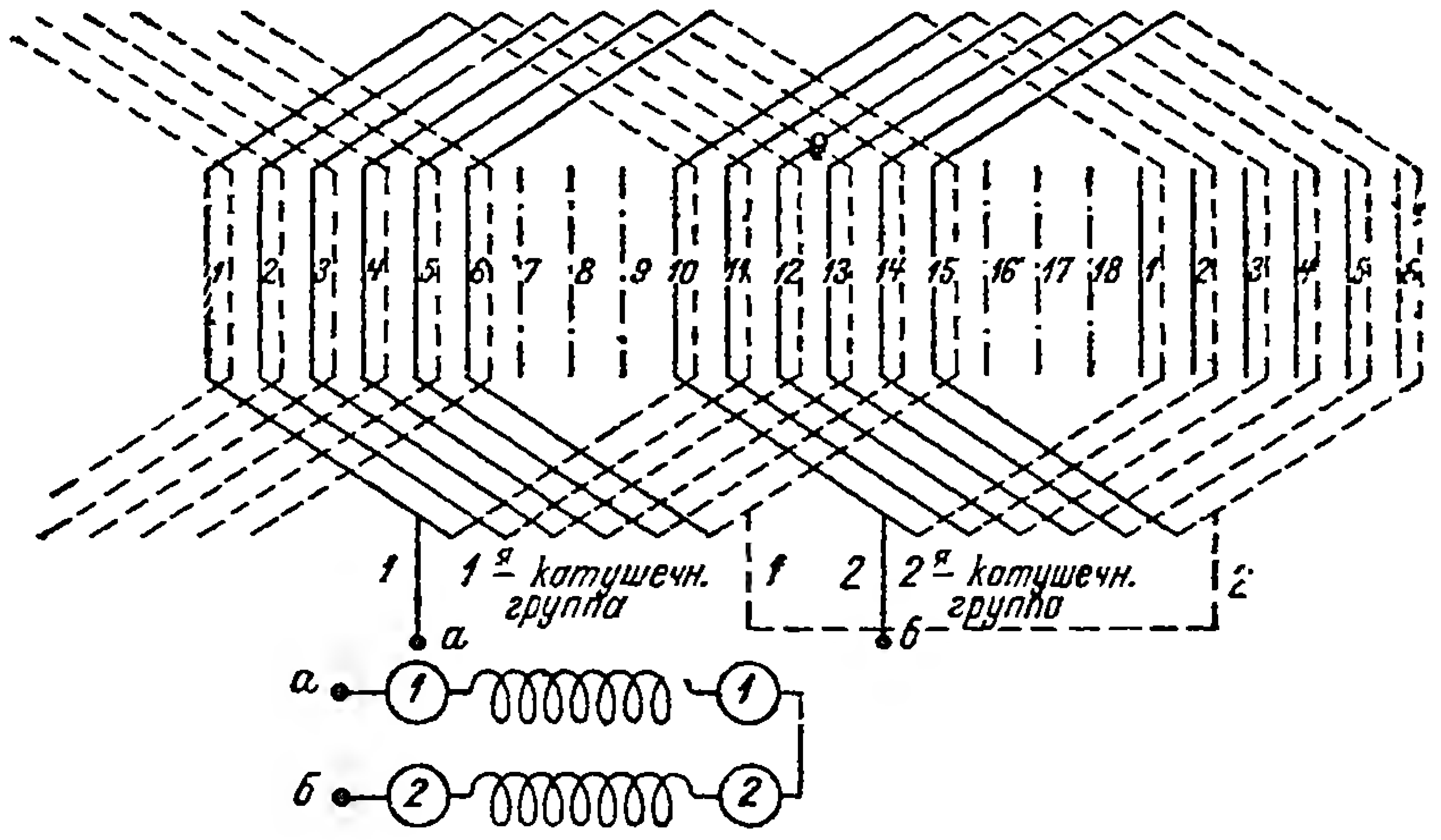


Рис. 150. Последовательное соединение двух соседних катушечных групп.

7. ОДНОФАЗНЫЕ ДВУХСЛОЙНЫЕ ОБМОТКИ

Однофазные двухслойные обмотки отличаются от трехфазных не только тем, что представляют одну фазу трехфазной обмотки, но еще и тем, что ширина фазной зоны ее в два раза шире, чем в трехфазной обмотке. Напомним, что шириной фазной зоны называется угол в электрических градусах, внутри которого находятся проводники (только верхние или только нижние) одной фазы и одного полюса. В то время как в трехфазных обмотках ширина фазной зоны равнялась 60 эл. градусам, в однофазных обмотках фазная зона берется шириной, равной 120 эл. градусам. Как уже говорилось выше, к этому прибегают для лучшего использования магнитного потока машины и улучшения формы кривой напряжения.

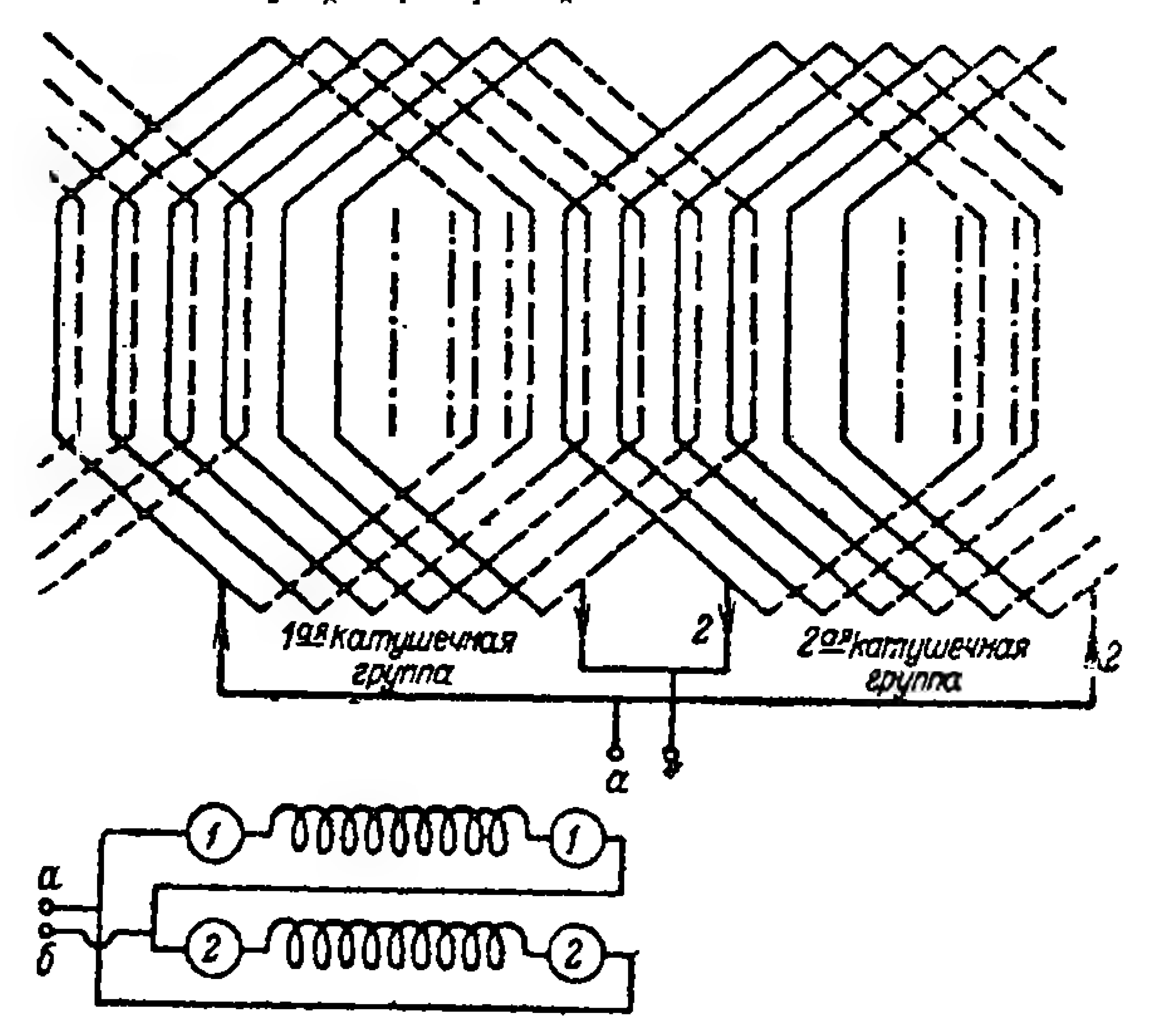


Рис. 151. Параллельное соединение двух соседних катушечных групп.

В отношении схемы однофазные обмотки ничем не отличаются от трехфазных обмоток. Катушки, лежащие под одним полюсом, соединяются последовательно в катушечные группы. При соединении катушечных групп в параллельные группы нужно выполнять все требования, которые были разобраны для трехфазных обмоток.

На рис. 150 изображена однофазная обмотка двухполюсной машины с диаметральным шагом. Из 18 пазов статора обмотано $\frac{2}{3}$, т. е. 12 пазов.

Пазы *7*, *8*, *9*, *16*, *17* и *18* остаются необмотанными. При последовательном соединении катушечных групп аналогично рис. 122 и 127 нужно соединить между собой нижние концы *1*-й и *2*-й катушечных групп и оставшиеся концы вывести к зажимам.

Параллельное соединение двух катушечных групп показано на рис. 151, причем шаг катушки взят укороченным.

Из этих рисунков видно, что схемы однофазных обмоток ничем не отличаются от схем одной фазы трехфазных обмоток.

8. ОБМОТКИ РОТОРОВ АСИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

Принципиально в качестве обмотки ротора можно взять любую из рассмотренных выше обмоток. Но ввиду того, что напряжение на контактных кольцах выбирается небольшим и сила тока поэтому получается значительной, наибольшим распространением пользуются стержневые волновые двухслойные обмотки.

Принцип устройства такой обмотки ничем не отличается от принципа устройства обмотки статора.

А. Трехфазные двухслойные волновые обмотки с целым числом пазов на полюс и фазу

Элементом обмотки является полукатушка, или стержень, изображенный на рис. 104, *б*.

В каждом пазу лежит по два стержня. В электрическом и магнитном отношениях обмотка представляет собой обмотку со сплошными фазными зонами и диаметральным шагом катушек. Отличие заключается только в том, что вместо катушек обмотка имеет стержни и при обходе обмотки делаются не петли, а волны.

Рассмотрим образование обмотки одной фазы.

Предположим, что у нас имеется ротор с Z_2 пазами, причем на каждый полюс и фазу приходится по $q_2 = 2$ паза (через q_2 будем в дальнейшем обозначать число пазов на полюс и фазу роторной обмотки).

Пронумеровав пазы, заложим в верх паза *1* фазного участка I_H (рис. 152) стержень, который примем выводным и обозначим его через U. С задней стороны соединяем этот стержень со стержнем, лежащим на участке той же фазы. Так как фазные участки одной фазы лежат на расстоянии полюсного шага τ, то верхний стержень паза *1* соединяем с нижним стержнем паза *7*. Передний конец этого стержня соединяем с передним концом верхнего стержня паза *13*, расположенным на расстоянии τ от паза *7*. Поступая таким же образом и далее, мы, очевидно, вернемся к исходному верхнему стержню паза *1* и тем самым включим в схему только по одному стержню на фазный участок.

Так как число фазных участков на фазу равно $2p$, то тем самым мы включим в схему только $2p$ стержней, из них p — верхних и p— нижних. Нам же надо включить $2pq_2$ верхних и $2pq_2$ нижних стержней. Для того чтобы включить в схему и все остальные стержни, поступают следующим образом.

Вместо того чтобы соединить передний конец последнего стержня A с передним концом верхнего стержня паза 1, соединим его с передним концом верхнего стержня паза Z—1 и начнем второй обход по обмотке. Таким образом будем поступать в конце каждого обхода. Вполне очевидно, что число обходов будет равно q_2 и в схему включится в q_2 раз больше стержней, чем при одном обходе, т. е. pq_2 верхних и pq_2 нижних стержней. На рис. 152 последний стержень обозначен через I.

При таком переходе от одного обхода к другому шаг переходных стержней меняется.

Если на рис. 152 по задней стороне лобовых частей обмотки шаг β (на этом рисунке вместо β принято обозначение b) везде диаметральный, т. е. $b_1 = \tau$, то по передней стороне в месте перехода шаг b_2 будет меньше τ на одно пазовое деление, т. е. $b_2 = \tau—1$. Однако переходной шаг может быть и удлиненным на одно пазовое деление, т. е. $b_2 = \tau + 1$. Такие обмотки называются обмотками с удлиненными переходами, в противоположность первым, называемым обмотками с укороченными переходами. Включая в схему по pq_2 верхних и по pq_2 нижних стержней, мы тем самым включаем только половину стержней фазы (заштрихованные фазные участки наверху рис. 152).

Чтобы включить остальные стержни, поступаем так же, как мы поступали при двухслойных обмотках (рис. 106). Находим фазный участок I_K, соседний с исходным I_H, и начинаем делать обходы по обмотке точно таким же образом.

Передний конец исходного стержня обозначим через X, а конец последнего стержня — через II.

При этом обходе в местах перехода передние стороны лобовых частей будут иметь, как и в первой части обмотки, укороченные шаги.

Переходные стержни на рис. 152 вычерчены более жирно.

Таким образом концы первой обмотки обозначены через U и I, а второй — через X и II.

По упрощенной схеме мы видим, что концы U и II лежат под одноименными полюсами и поэтому будут началами обмоток; концы X и I лежат под одноименными полюсами другой полярности и поэтому будут концами обмоток.

При последовательном соединении обмоток нужно соединить концы I и II и взять выводные концы от U и X.

При параллельном соединении нужно соединить U с II и X с I.

Для облегчения своей работы обмотчик-роторщик накладывает на ротор бумажную ленту, обхватывающую ротор; на этой ленте обмотчик делает соответствующую пометку против каждого паза, где лежит выводной стержень. Чтобы правильно разметить ленту, обмотчик должен иметь соответствующую таблицу; для составления же таблицы нужны формулы, определяющие номера пазов, где лежат

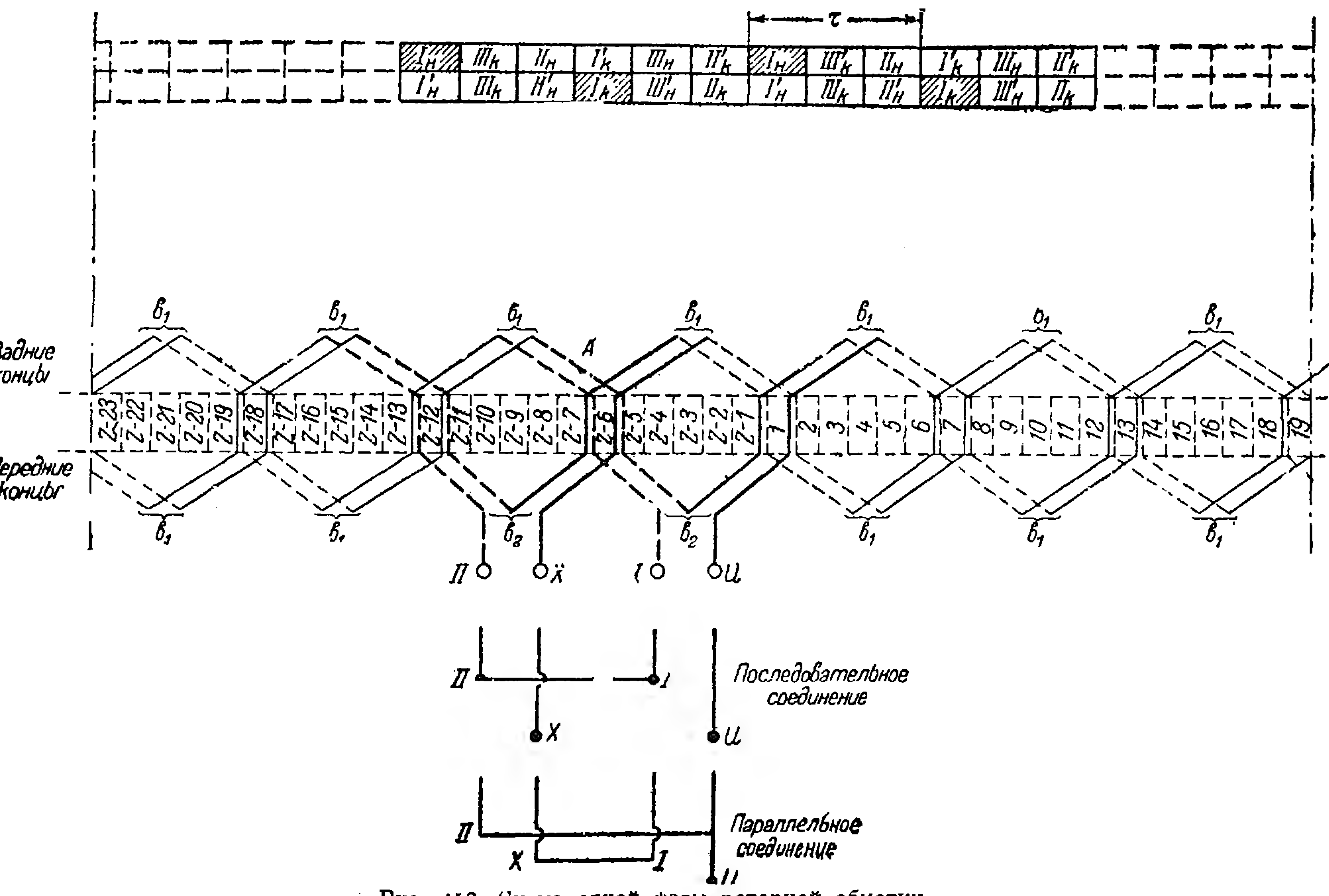


Рис. 152. Схема одной фазы роторной обмотки.

выводные стержни. Найдем эти формулы для выводных стержней U, I, II и X.

Какова разность между номерами паза где лежит стержень U, и паза, где лежит стержень I? Между этими пазами лежат, во-первых $2q_2$ пазов, принадлежащих остальным двум фазам, во-вторых, между этими же пазами находятся два раза по (q_2-1) пазов этой же фазы (см. рис. 152). Следовательно между номерами обоих пазов должно находиться $2q_2 + 2(q_2-1) = 4q_2 - 2$ номеров,—значит разность между ними равняется $4q_2-1$. Такому же числу равна и разность между пазами, где расположены стержни X и II. Разность между пазами, где лежат стержни U и X, равна $3q_2$, так как эти пазы отстоят друг от друга на одно полюсное деление; этому же числу $3q_2$ равна и разность между пазами, где лежат стержни I и II. Обозначим паз, где расположен стержень U, номером A и нумерацию пазов будем вести от номера *1* вправо. При этом безразлично, какой паз обозначить номером *1*. Тогда, согласно предыдущему, можем составить в буквенном выражении таблицу (см. табл. 6) номеров пазов, где расположены выводные стержни фазы I.

Таблица 6

U	X	I	II
A	$A-3q_2$	$A-(4q_2-1)$	$A-3q_2-(4q_2-1) = A-7q_2+1$
$A=1$	$1-3q_2$	$1-(4q_2-1) = 2-4q_2$	$1-3q_2-(4q_2-1) = 2-7q_2$

Для некоторых пазов могут получаться отрицательные числа, т. е. номера меньше нулевого; нулевым номером мы должны считать последний номер и от него отнимать абсолютную величину отрицательного номера. Так, например, при

$$q_2=3,\ 2p=4,\ \text{число пазов}\ Z_2=36,\ U=A=1;$$
$$X=1-3q_2=1-3\cdot 3=-8=0-8=36-8=28;$$
$$I=2-4q_2=2-4\cdot 3=-10=0-10=36-10=26;$$
$$II=2-7q_2=2-7\cdot 3=-19=0-19=36-19=17.$$ [1]

Остальные две фазы выполняются, конечно, так же как и первая. Разности между номерами пазов, имеющих выводные стержни, будут такие же, как и для фазы I; что же касается расположения начальных стержней фаз II и III, то их располагают в трех равноотстоящих точках окружности ротора. Так, например, на схеме, данной на рис. 153, начало фазы II V и начало фазы III W должны отстоять на $^1/_3$ окружности, т. е. на 12 пазов друг от друга и от начала фазы I U. Следовательно, если стержень U лежит в пазу *1*, то стержень V должен быть помещен в паз *13*, а стержень W — в паз *25*. Однако удобнее нумеровать пазы так, чтобы стержень W находился в последнем пазу,—

[1] Здесь под U, X, I, и II надо понимать номера пазов, где лежат эти стержни.

в нашем случае в 36-м. Тогда стержни U и V окажутся в 12-м и 24-м пазах. Точно так же будут сдвинуты концы Y и Z фаз II и III. Для этого случая дадим таблицу расположения выводных стержней во всех трех фазах, применительно к рис. 153, но с измененной нумерацией пазов (см. табл. 7).

Таблица 7

U	V	W	X	Y	Z	I	III	V	II	IV	VI	β	β_1
12	24	36	3	15	27	1	13	25	28	4	16	9	8

Стержни второй фазы, соответствующие стержням I и II первой фазы, будем обозначать через III и IV, а соответствующие стержни третьей фазы — V и VI.

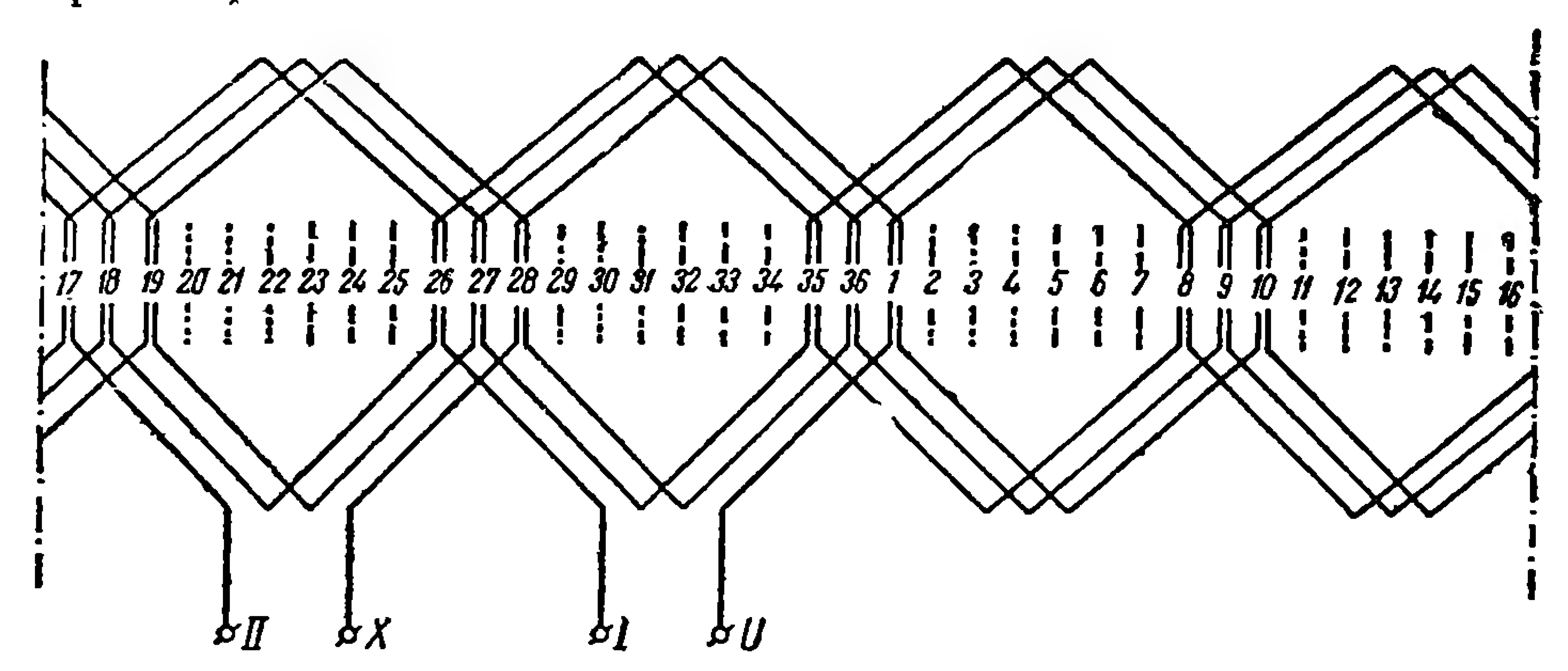


Рис. 153. Полная схема одной фазы обмотки ротора.

Все номера пазов, указанные в табл. 7, подсчитаны по формулам, данным для фазы I, причем буквой A здесь надо считать начальный паз каждой фазы, т. е. пазы, соответствующие U, V и W. В таблицу включены также и шаги β (нормальный) и β_1 (ненормальный). Если число пар полюсов p делится на 3, то таблица расположения выводных стержней составляется несколько иначе, так как в этом случае пазы U, V и W не могут быть расположены симметрично по окружности ротора. В самом деле, если p делится на 3, а точки U, V и W расположены симметрично, то между каждой парой из этих точек будет находиться целое число полюсных делений. Значит, если точка U находится в расположении фазы I, то и точки V и W должны находиться в расположении той же фазы I, что, конечно, невозможно, так как V и W суть начала фаз II и III. Если же p на 3 не делится, то и $2p$ не делится на 3. Значит, если точки U, V и W расположены симметрично, то между любыми двумя из этих трех точек будет находиться не целое число полюсов, но целое число фазных зон, т. е. таких групп пазов под каждым полюсом, где лежат проводники одной и той же фазы; ведь число фазных зон при всяком числе полюсов делится на 3 в трехфазной обмотке.

Таким образом, когда p не делится на 3, то точки U, V и W расположены симметрично по окружности ротора. Если же p делится на 3, то расположить эти точки нужно как-нибудь иначе, но так, чтобы между каждой парой этих точек было 120 или 240 эл. градусов плюс любое целое число раз по 360 эл. градусов. Приводим таблицу расположения выводных стержней при p, кратном трем, для обмотки: m_2 (число фаз ротора) $= 3$, $2p = 6$, $Z_2 = 72$, $q_2 = 4$ (см. табл. 8).

Таблица 8

U	V	W	X	Y	Z	I	III	V	II	IV	VI	β	β_1
16	32	72	4	20	60	1	17	57	61	5	45	12	11

Из приведенной таблицы видно, что V от U находится на расстоянии четырех фазных зон (фазная зона здесь равна 4 пазам), т. е. на расстоянии 240 эл. градусов, так как каждая фазная зона есть 60 эл. градусов; W от U находится на расстоянии 14 фазных зон, т. е. на расстоянии 120 эл. градусов плюс два раза по 360 эл. градусов. Таким образом мы видим, что при таком расположении U, V и W эти точки действительно суть начала фаз трехфазной обмотки.

Б. Трехфазные двухслойные волновые обмотки с дробным числом пазов на полюс и фазу

В волновых стержневых обмотках ротора применяются и дробные $q_2 = 1\frac{1}{2}$, $2\frac{1}{2}$, $3\frac{1}{2}$ и т. д. Так как число фаз равно трем — числу нечетному, то в этом случае число пазов, приходящееся на полюс, есть число дробное: при $q_2 = 1\frac{1}{2}$ оно равно $4\frac{1}{2}$, при $q_2 = 4\frac{1}{2}$ оно равно $13\frac{1}{2}$ и т. д. Следовательно при дробном q_2 нормальный шаг обмотки не может точно равняться полюсному делению τ. Шаг обмотки может быть только целым числом; поэтому он не может быть в данном случае диаметральным, а может быть либо укороченным, либо удлиненным. Каждая пара соседних шагов в сумме должна равняться 2τ, поэтому шаги волнообразной обмотки ротора при дробном q_2 чередуются: укороченный шаг β с удлиненным шагом β_1. Разность между ними может быть равна любому числу; обыкновенно же она равна единице, а разность между каждым из них и полюсным делением, выраженным числом пазов, по абсолютной величине равна половине.

При дробном q_2 в каждой фазе числа стержней каждой зоны чередуются в каждом слое обмотки. Числа пазов фазной зоны одной и той же фазы по очереди равны $\left(q_2 - \frac{1}{2}\right)$ и $\left(q_2 + \frac{1}{2}\right)$. Каждый верхний стержень соединен с каким-то нижним стержнем. Поэтому $\left(q_2 - \frac{1}{2}\right)$ стержней верхнего слоя соединяются со столькими же стержнями нижнего слоя, отстоящими от них на одно полюсное деление. Эти

$\left(q_2 - \frac{1}{2}\right)$ нижних стержней, в свою очередь, соединяются с $\left(q_2 - \frac{1}{2}\right)$ верхними и т. д. Таким образом вся ветвь обмотки, которая начинается фазной зоной с $\left(q_2 - \frac{1}{2}\right)$ стержнями, имеет по $\left(q_2 - \frac{1}{2}\right)$ стержней во всех своих фазных зонах. Значит другая ветвь той же фазы вся состоит из фазных зон по $\left(q_2 + \frac{1}{2}\right)$ стержней. Обе ветви переплетены таким образом, что вторая ветвь включает в себя нижние стержни тех пазов, где первая ветвь включает верхние, и наоборот. Но так как фазная зона одной из ветвей имеет на единицу меньшее число стержней, чем фазная зона другой ветви, то в одном из пазов каждой фазной зоны только верх или только низ занят стержнем данной фазы, а вторая половина занята стержнем какой-то другой фазы. Таким образом при дробном q_2 в некоторой части пазов встречаются проводники двух различных фаз. Это явление имеет место, как известно, в двухслойных обмотках с сокращенным шагом. Такое сходство не случайно, так как в двухслойных обмотках дробное q непременно связано с известным сокращением шага. Двухслойная волновая обмотка при дробном q_2 тоже есть обмотка с сокращенным шагом. Отметим, что с электрической точки зрения сокращение шага или удлинение его совершенно равноценны. Э. д. с., индуктированная в катушке, имеющей ширину, положим, $\frac{3}{4}\tau$, в точности равна э. д. с., индуктированной в катушке, шириной в $\frac{5}{4}\tau$. Это иллюстрирует рис. 154, где изображены две равные между собою ординаты кривой поля ab и cd. Эти ординаты равны между собой потому, что расстояние между ними равно 2τ. Если у волновой обмотки шаг β равен $\frac{3}{4}\tau$, а $\beta_1 = \frac{5}{4}\tau$, то э. д. с., индуктированные потоком в стержнях AB, EF и CD, будут пропорциональны ординатам ab, ef и cd. Э. д. с. укороченной секции будет пропорциональна сумме ординат ab и ef, а э. д. с. удлиненной секции — сумме ординат cd и ef; следовательно э. д. с. укороченной секции $ABEF$ равна э. д. с. удлиненной секции $EFCD$.

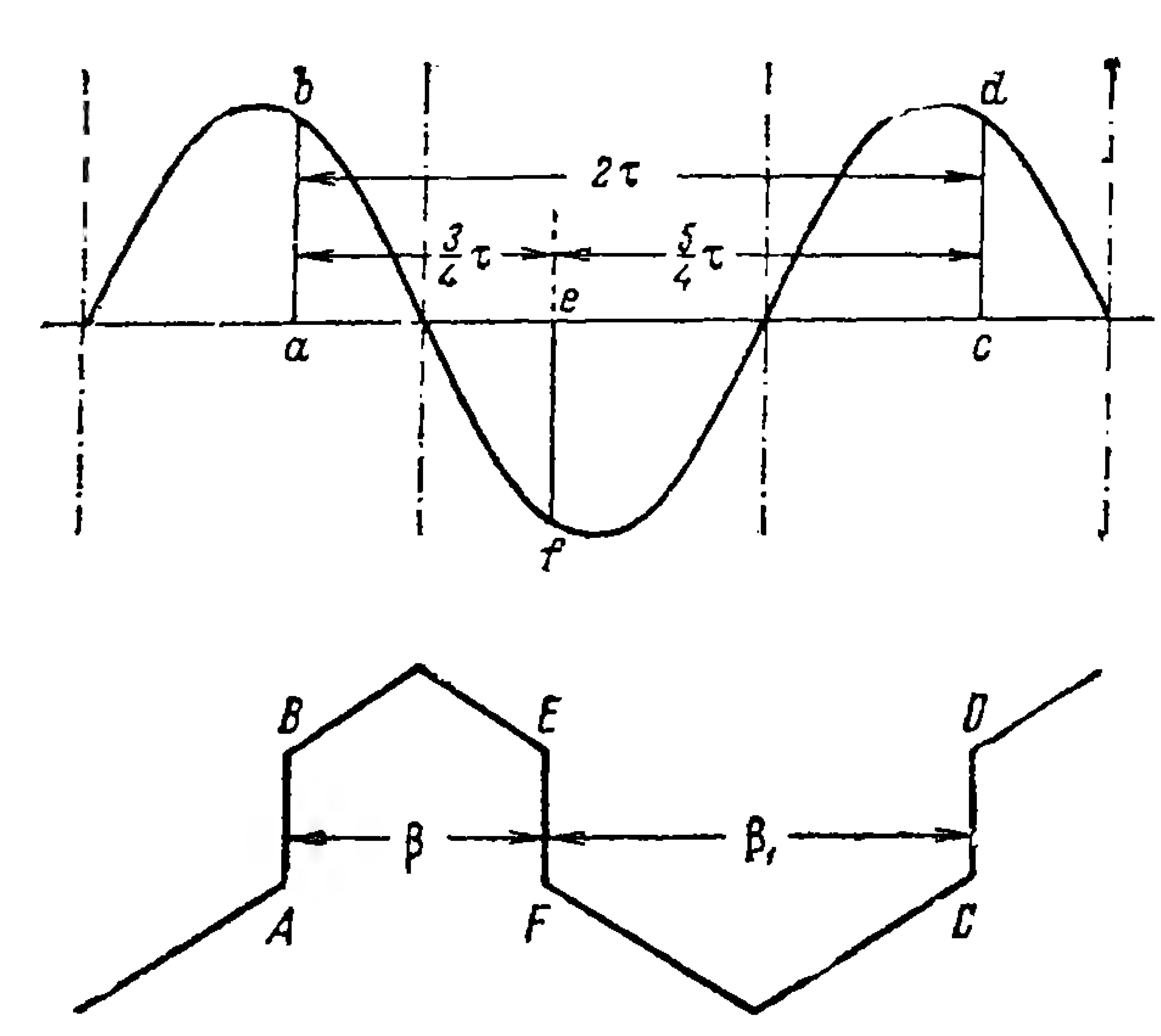


Рис. 154. Расположение секции обмотки в кривой поля при дробном q_2.

Если через β_1 мы обозначаем шаг секции со стороны выводов, а через β — шаг со стороны, противоположной выводам, то ненормальный шаг

$$\beta_2 = \beta_1 - 1.$$

Здесь возможны два случая. Если шаг со стороны выводов на 1 больше шага со стороны противоположной, то:

$$\beta = \beta_1 - 1,$$

а

$$\beta_2 = \beta_1 - 1 = \beta.$$

Если же шаг со стороны выводов на 1 меньше шага с противоположной стороны, то:

$$\beta_1 = \beta - 1,$$

а

$$\beta_2 = \beta_1 - 1 = \beta - 1 - 1 = \beta - 2.$$

Оба эти случая изображены на рис. 155 и 156.

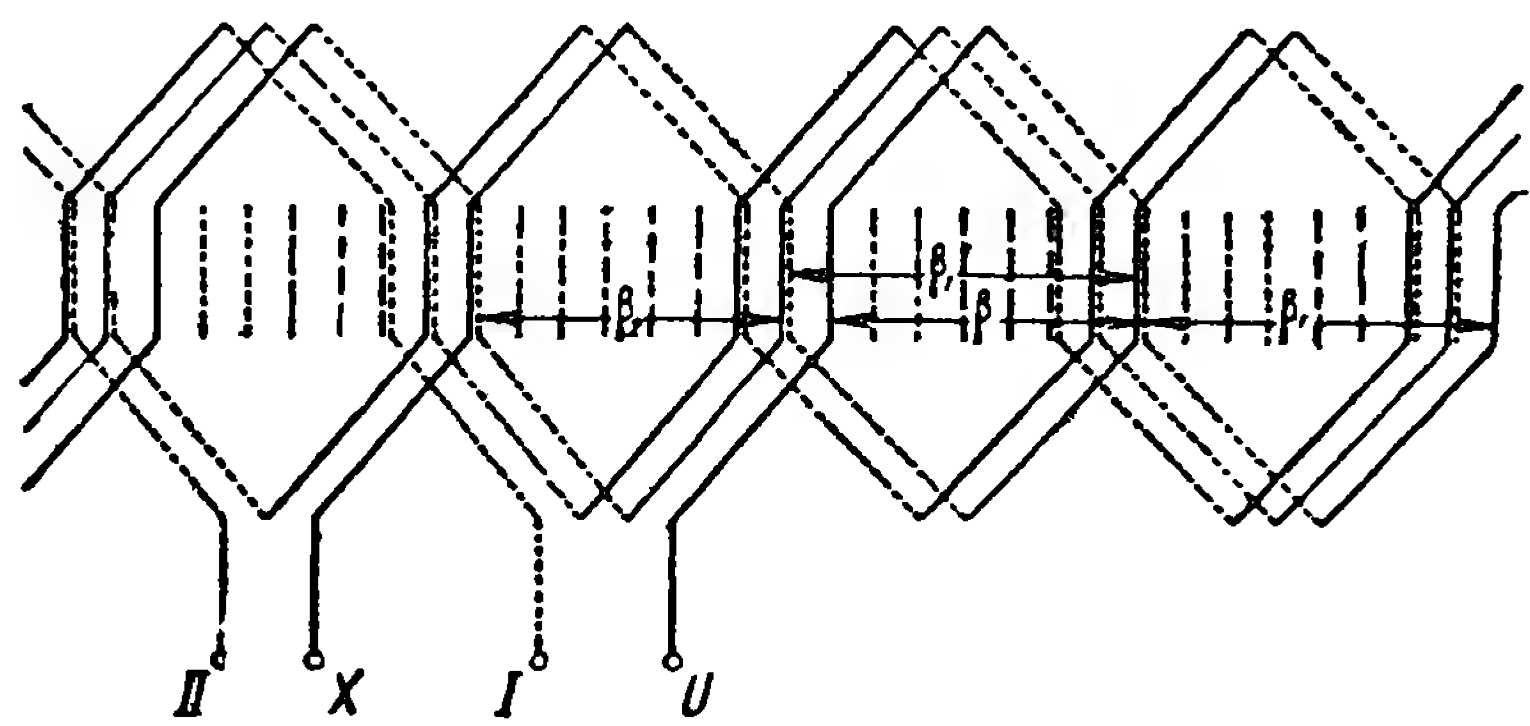


Рис. 155. Секции волновой обмотки при $q = 2^1/_2$; $\beta = 7$; $\beta_1 = 8$; $\beta_2 = 7$.

Найдем формулы для определения нумерации пазов с выводными стержнями. Каждый из стержней U, V и W на схеме есть крайний правый какой-то фазной зоны. Число всех фазных зон трехфазной обмотки есть утроенное число полюсов, т. е. $3 \cdot 2p = 6p$. Если эти три вывода расположены симметрично по окружности ротора, то расстояние между каждыми двумя выводами равно $2p$ фазных зон, а каждая пара фазных зон при q_2 дробном $\left(\text{при дробности } \frac{1}{2}\right)$ включает в себя целое число пазов. Значит при q_2 дробном вполне возможно симметричное расположение выводов U, V и W. Стержни U и I, а также X и II, равно как и соответствующие пары стержней остальных двух фаз, лежат в крайних пазах соответствующих фазных зон (см. рис. 155). Одна из этих зон лежит в верхнем слое, другая — в нижнем. Расстояние по пазам между этими зонами зависит от ненормального шага β_2. Из рисунка видно, что разность между номерами пазов стержней U и I равна ненормальному шагу, увеличенному на число стержней в фазной зоне,

где лежит стержень U или I. Следовательно формула для определения номера паза стержня I будет иметь такой вид:

$$A-\beta_2-\left(q_2\pm\frac{1}{2}\right).$$

Для определения номера паза стержня II надо учесть, что стержни X и II лежат в фазных зонах, отличных от тех, где лежат стержни U и I: если эти последние зоны имели по $\left(q_2+\frac{1}{2}\right)$ стержней, то зоны стержней X и II будут иметь по $\left(q_2-\frac{1}{2}\right)$ стержней, и наоборот. Поэтому разность между номерами пазов стержней X и II равна: $\beta_2+\left(q_2\mp\frac{1}{2}\right)$.

Разность между номерами пазов стержней U и X и соответствующие разности в других фазах будут уже зависеть от того, сколько пазов в той фазной зоне, где лежат стержни U, V и W. Так как

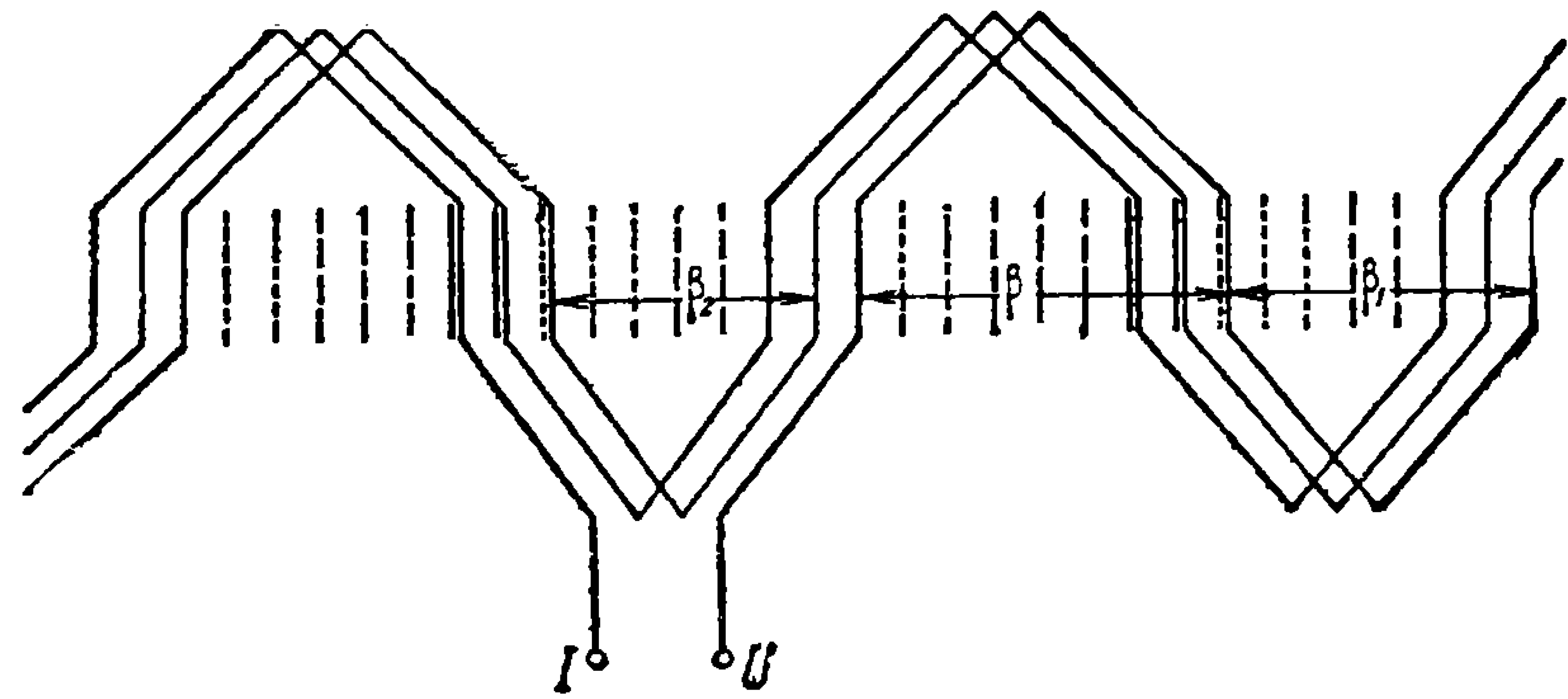


Рис. 156. Секции волновой обмотки при $q=2^1/_2$; $\beta=8$; $\beta_1=7$; $\beta_2=6$.

число фазных зон между любыми двумя из этих трех выводов есть число четное, а числа пазов в фазных зонах чередуются, то все три стержня U, V и W лежат в одинаковых фазных зонах. Точки X, Y и Z тоже лежат в одинаковых фазных зонах. Расстояния между U и X, V и Y, W и Z равны полюсному делению, или трем фазным зонам, т. е. нечетному числу фазных зон. Следовательно стержни X, Y и Z лежат в фазных зонах, отличных от тех, где лежат стержни U, V и W. Например, если $q_2=3^1/_2$, то фазные зоны будут иметь по очереди то 3, то 4 паза. Если стержень U лежит в фазной зоне с тремя пазами, то и стержни V и W лежат в таких же фазных зонах, а стержни X, Y и Z лежат в фазных зонах с четырьмя пазами. Наоборот, если в трехпазных зонах лежат стержни X, Y и Z, то стержни U, V и W лежат в четырехпазных зонах. Полюсное деление при дробном q_2 имеет попеременно $\left(3q_2-\frac{1}{2}\right)$ и $\left(3q_2+\frac{1}{2}\right)$ пазов. Разность номеров паза, содержащего стержень U, и паза, содержащего стержень X, равна полюсному делению, как об этом уже было сказано выше. Следовательно эта разность может быть равна $\left(3q_2-\frac{1}{2}\right)$ пазов и может быть равна $\left(3q_2+\frac{1}{2}\right)$ пазов. Если

стержень U находится в фазной зоне, имеющей $\left(q_2+\frac{1}{2}\right)$ пазов, то он отделен от стержня X тремя фазными зонами, в которых числа пазов равны: $\left(q_2+\frac{1}{2}\right)$, $\left(q_2-\frac{1}{2}\right)$ и $\left(q_2+\frac{1}{2}\right)$; общее число пазов, отделяющих U от X, в этом случае равно $\left(3q_2+\frac{1}{2}\right)$(см. рис. 155). Этому же числу равны разности номеров пазов, содержащих стержни V и Y и W и Z. Если же стержень U лежит в фазной зоне с $\left(q_2-\frac{1}{2}\right)$ пазами, то полюсное деление, отделяющее его от стержня X, состоит из трех фазных зон со следующими числами пазов: $\left(q_2-\frac{1}{2}\right)$, $\left(q_2+\frac{1}{2}\right)$ и $\left(q_2-\frac{1}{2}\right)$ — всего $\left(3q_2-\frac{1}{2}\right)$ пазов. Знак перед дробью $\frac{1}{2}$ в данном случае такой же, как и знак перед нею в выражении $\left(q_2\pm\frac{1}{2}\right)$ для числа стержней в фазной зоне, где лежит стержень U, и, значит, такой же, как в выражении для номера паза I.

Таблица 9

$2p$	q_2	U	V	W	X	Y	Z	I	III	V	II	IV	VI	β	β_1	β_2
		A	$A+\frac{Z}{3}$	$A+\frac{2Z}{3}$	$A-\left(3q_2\pm\frac{1}{2}\right)$	$A+\frac{Z}{3}-\left(3q_2\pm\frac{1}{2}\right)$	$A+\frac{2Z}{3}-\left(3q_2\pm\frac{1}{2}\right)$	$A-\beta_2-\left(q_2\pm\frac{1}{2}\right)$	$A+\frac{Z}{3}-\beta_2-\left(q_2\pm\frac{1}{2}\right)$	$A+\frac{2Z}{3}-\beta_2-\left(q_2\pm\frac{1}{2}\right)$	$A-\left(3q_2\pm\frac{1}{2}\right)-\beta_2-\left(q_2\mp\frac{1}{2}\right)=A-\beta_2-4q_2$	$A+\frac{Z}{3}-\beta_2-4q_2$	$A+\frac{2Z}{3}-\beta_2-4q_2$	любое целое число, меньшее, чем $6q_2$	$6q_2-\beta$	$\beta_1-1=6q_2-\beta-1$
4	3,5	14	28	42	3	17	31	42	14	28	32	4	18	10	11	10
4	3,5	14	28	42	4	18	32	1	15	29	32	4	18	10	11	10
4	3,5	14	28	42	3	17	31	1	15	29	33	5	19	11	10	9
4	3,5	14	28	42	4	18	32	2	16	30	33	5	19	11	10	9

На основании всего вышеизложенного можно составить таблицу формул для номеров пазов с выводными стержнями при дробном q_2 (см. табл. 9).

Для уяснения формул, входящих в эту таблицу, дадим сводку правил, вытекающих из всех предыдущих рассуждений. В этой сводке выражение: «зона $\left(q_2 + \frac{1}{2}\right)$» означает: «зона, имеющая $\left(q_2 + \frac{1}{2}\right)$ стержней»; буквенное обозначение U, X и цифры I и II означают номера пазов, где находятся стержни такого же наименования. Кроме того, обозначения: U, X, I и II присваиваются попрежнему самим выводным стержням.

Сводка правил:

(1) Если U в зоне $q_2+\frac{1}{2}$, то $U-X=3q_2+\frac{1}{2}$.

(2) Если U в зоне $q_2-\frac{1}{2}$, то $U-X=3q_2-\frac{1}{2}$.

(3) Если U в зоне $q_2+\frac{1}{2}$, то $U-I=\beta_2+\left(q_2+\frac{1}{2}\right)$.

(4) Если U в зоне $q_2-\frac{1}{2}$, то $U-I=\beta_2+\left(q_2-\frac{1}{2}\right)$.

(5) Если U в зоне $q_2+\frac{1}{2}$, то X в зоне $\left(q_2-\frac{1}{2}\right)$.

(6) Если U в зоне $q_2-\frac{1}{2}$, то X в зоне $\left(q_2+\frac{1}{2}\right)$.

(7) Если X в зоне $q_2+\frac{1}{2}$, то $X-II=\beta_2+\left(q_2+\frac{1}{2}\right)$.

(8) Если X в зоне $q_2-\frac{1}{2}$, то $X-II=\beta_2+\left(q_2-\frac{1}{2}\right)$.

(9) Пусть X в зоне $q_2+\frac{1}{2}$ и $X-II=\beta_2+\left(q_2+\frac{1}{2}\right)$, тогда $II=X-\beta_2-\left(q_2+\frac{1}{2}\right)$ и U в зоне $q-\frac{1}{2}$ [см. п. (6)]; в этом случае [см. п. (2)]: $X=U-\left(3q_2-\frac{1}{2}\right)$. Подставляем:

$$U-\left(3q_2-\frac{1}{2}\right)-II=\beta_2+\left(q_2+\frac{1}{2}\right)$$

или

$$II=U-\left(3q_2-\frac{1}{2}\right)-\beta_2-\left(q_2+\frac{1}{2}\right)=U-\beta_2-4q_2.$$

(10) Пусть X в зоне $q_2-\frac{1}{2}$ и $X-II=\beta_2+\left(q_2-\frac{1}{2}\right)$, тогда $II=X-\beta_2-\left(q_2-\frac{1}{2}\right)$ и U в зоне $q+\frac{1}{2}$ [см. п. (5)]; затем [см. п. (1)]: $X=U-\left(3q_2+\frac{1}{2}\right)$. Подставляем: $U-\left(3q_2+\frac{1}{2}\right)-II=\beta_2+\left(q_2-\frac{1}{2}\right)$ или $II=U-\left(3q_2+\frac{1}{2}\right)-\beta_2-\left(q_2-\frac{1}{2}\right)=U-\beta_2-4q_2$.

Сравнивая пункты (9) и (10), видим, что разность номеров пазов U и II не зависит от того, в какой зоне находится U; сравнивая пункты

(1) и (2), (3) и (4), видим, что разности номеров пазов U и X и пазов U и I будут на единицу больше, если зона, где находится U, на единицу больше; эти разности будут на единицу меньше, если эта зона на единицу меньше. Все это справедливо и в отношении номеров пазов стержней V, Y, III и IV, а также номеров пазов стержней W, Z, V и VI.

В. Двухфазная роторная обмотка

Число фаз обмотки ротора не должно обязательно равняться числу фаз обмотки статора. Некоторые иностранные фирмы изготовляют роторы, правда небольших мощностей, с двухфазной обмоткой; с та-

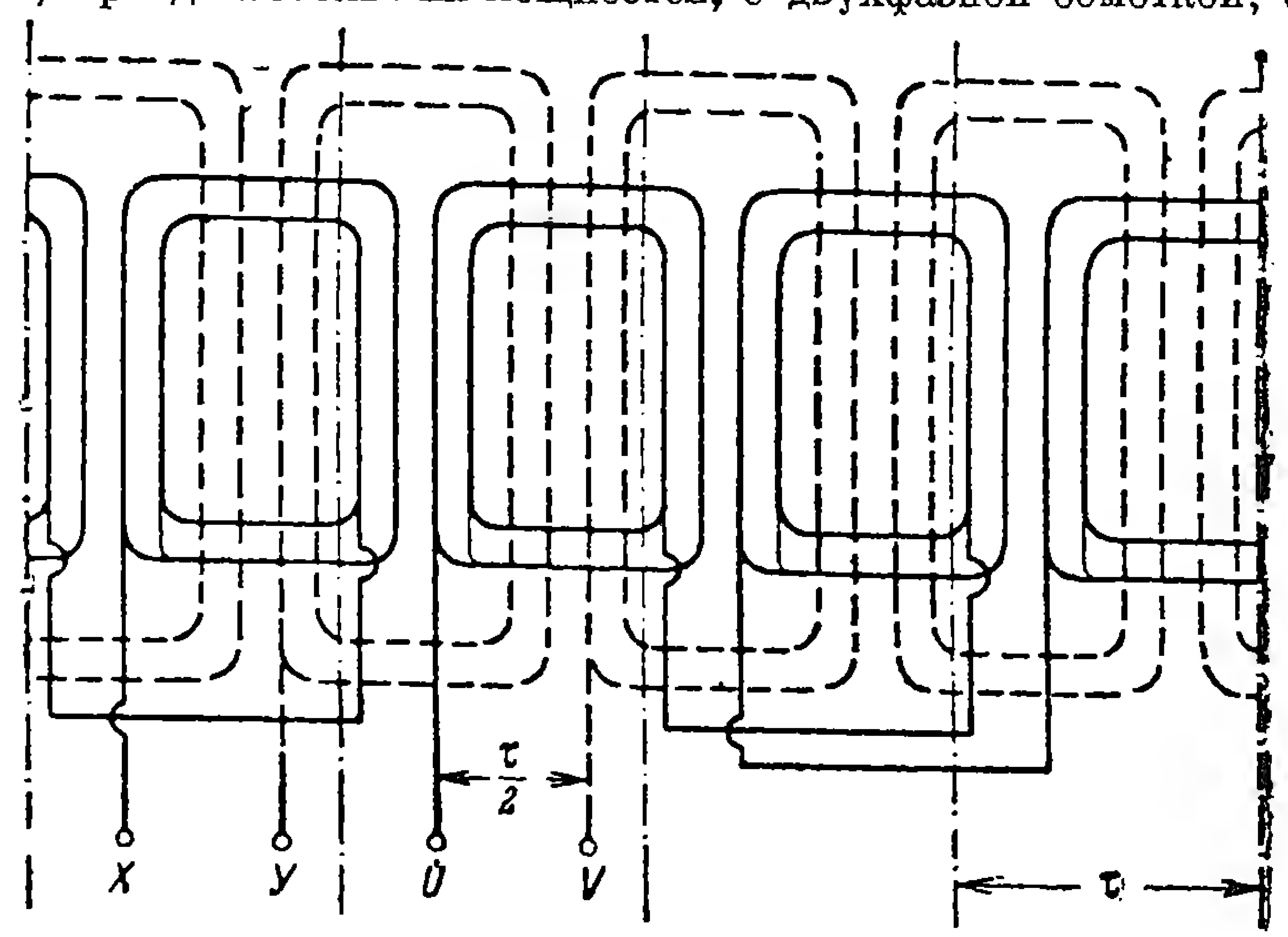


Рис. 157. Двухфазная катушечная обмотка «вразвалку» при $2p = 4$; $q = 4$.

кими моторами можно встретиться в практике. На рис. 157 показана такая обмотка в катушечном исполнении «вразвалку», так как в этом случае они получаются наиболее экономичными.

9. МНОГОСКОРОСТНЫЕ ОБМОТКИ

А. Общие замечания

Асинхронный двигатель по существу является двигателем постоянной скорости. Его скорость вращения мало отличается от так называемой «синхронной» скорости n_c, определяющейся следующим выражением

$$n_c = \frac{60f}{p},$$

где: f — частота тока в сети, p — число пар полюсов.

С другой стороны, асинхронный двигатель является самым дешевым, легким и простым по обслуживанию из всех двигателей как

переменного, так и постоянного тока. Поэтому вполне естественным является стремление к более широкому применению асинхронных двигателей.

Бурное развитие станкостроения повлекло за собой широкое применение электроприводов, могущих работать при разных скоростях. Стремление приспособить в виде электропривода асинхронный двигатель привело к применению «многоскоростных» асинхронных двигателей.

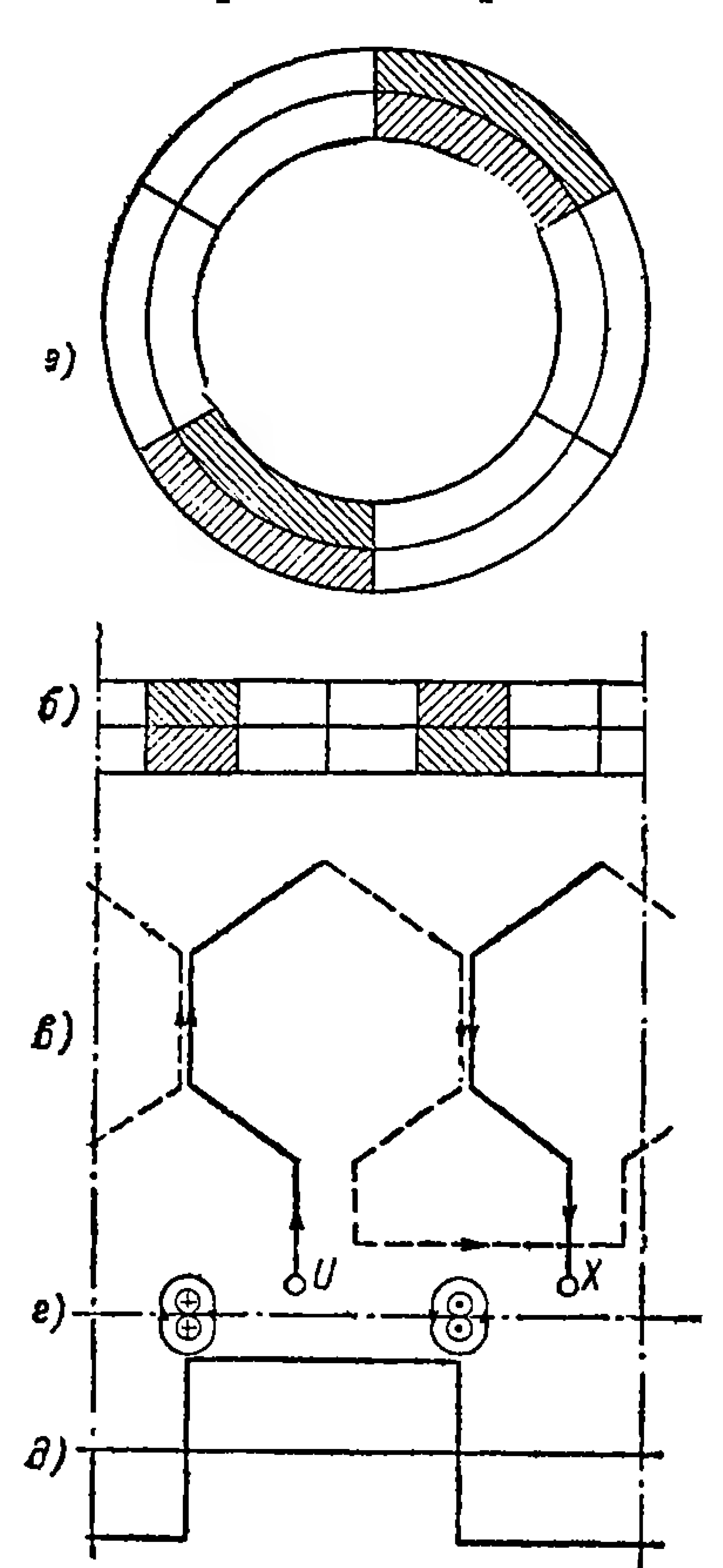


Рис. 158. Образование поля с $2p = 2$.

Так как «рабочее» число оборотов асинхронного двигателя мало отличается от «синхронного», определяемого по вышеуказанной формуле, то, меняя число пар полюсов, мы тем самым будем менять скорость вращения двигателя.

Выше мы выяснили, что число пар полюсов асинхронного двигателя задается обмоткой статора. Обмотки, позволяющие иметь различное число пар полюсов, называются многоскоростными. Наибольшее распространение в настоящее время имеют двухскоростные обмотки, которые позволяют иметь две скорости с отношением 1 : 2, достигаемым простым переключением выводных концов.

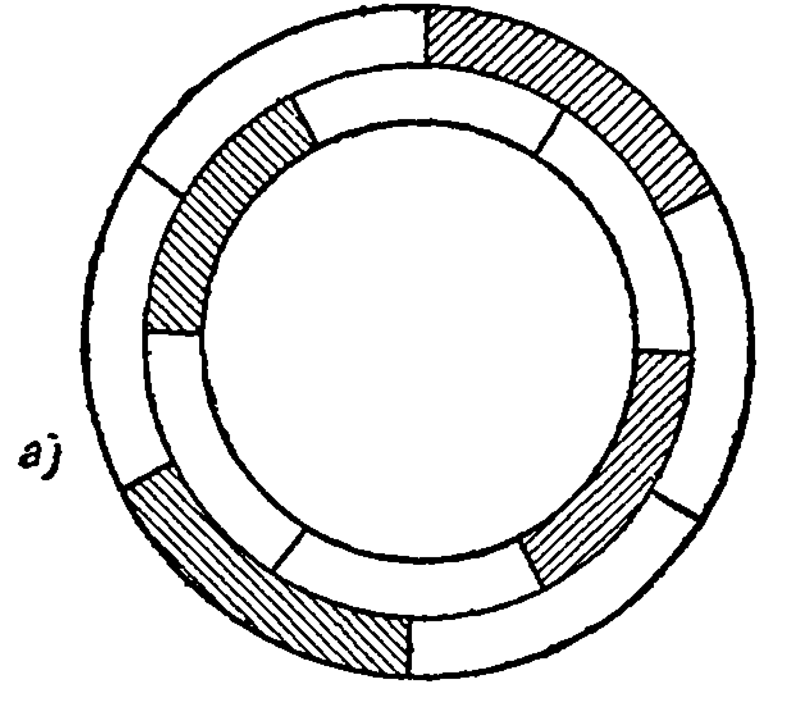
В случае двигателей с контактными кольцами необходимо производить переключения и обмотки ротора, что усложняет двигатель. В двигателях с короткозамкнутым ротором такого переключения обмотки ротора не требуется.

Двухскоростные обмотки могут выполняться однослойными концентрическими, цепными или же двухслойными. Принцип образования схем остается одним и тем же для всех типов обмоток. В дальнейшем мы рассмотрим только двухслойные обмотки как наиболее часто применяемые.

Б. Двухслойные трехфазные двухскоростные обмотки с отношением чисел оборотов 1 : 2

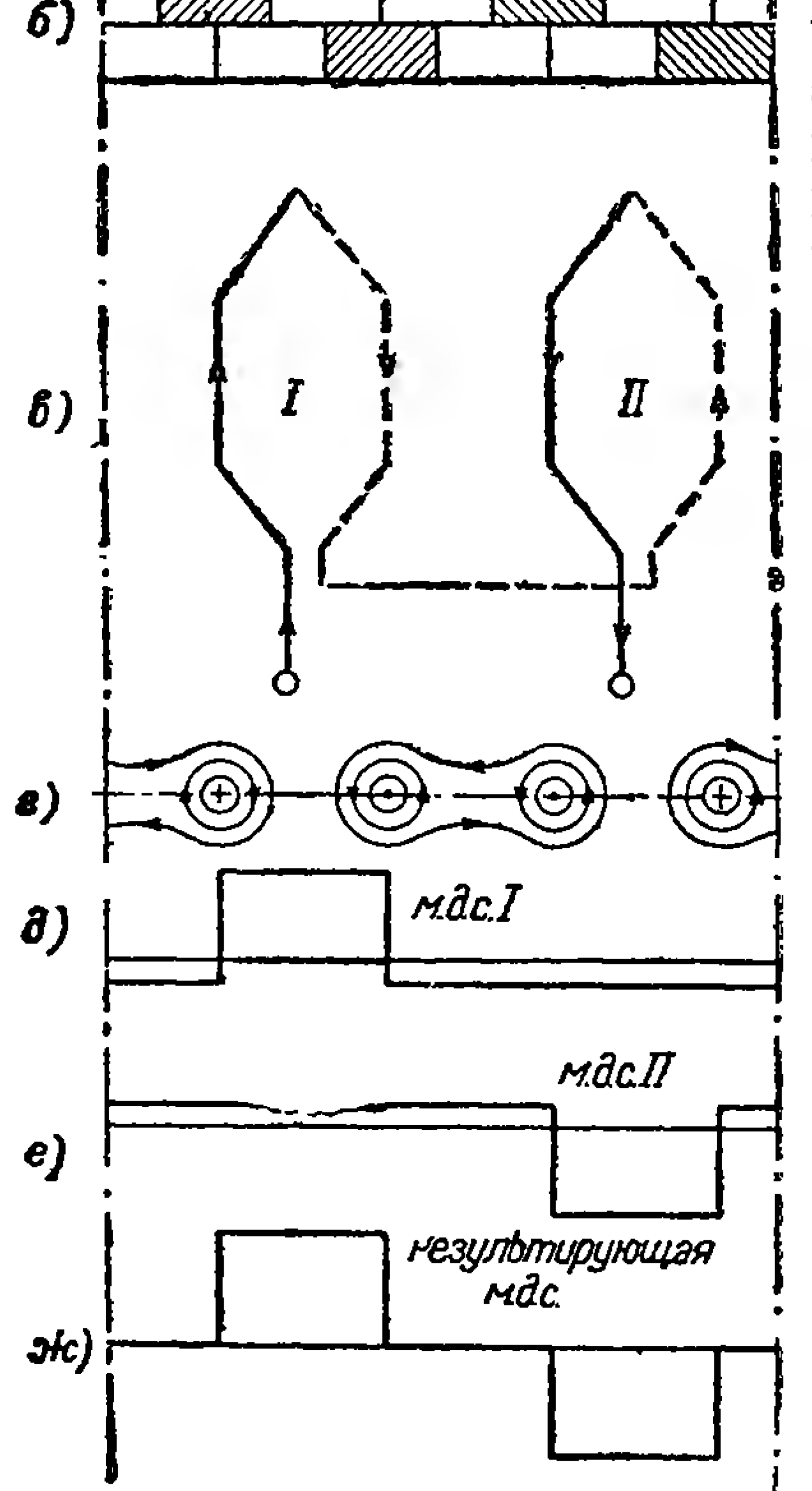
При рассмотрении двухслойных обмоток мы нашли, что: 1) число катушечных групп в фазе равно $2p$; 2) ширина катушки близка к полюсному шагу; 3) число катушек в катушечной группе при целом q равно $\frac{Z}{2pm}$, где Z — число пазов, m — число фаз.

Таким образом для каждого числа полюсов нормально обмотка должна иметь совершенно различные катушечные группы. Если же от одной и той же обмотки требуется получить различное число полюсов, прибегая только к переключениям выводных концов, то, очевидно, мы должны взять катушечные группы или только для большего, или только для меньшего числа полюсов.



Предположим, что обмотка должна давать $2p = 2$ и $2p = 4$. При нормальном выполнении катушечных групп для $2p = 2$ получим рис. 158.

Раньше мы нашли, что вращающееся магнитное поле с $2p$ полюсами образуется наложением пульсирующих полей отдельных фаз с тем же числом полюсов $2p$. Отсюда можем заключить, что, для того чтобы изменить число полюсов вращающегося магнитного поля, мы должны изменить число полюсов пульсирующего поля каждой фазы. Так как схемы



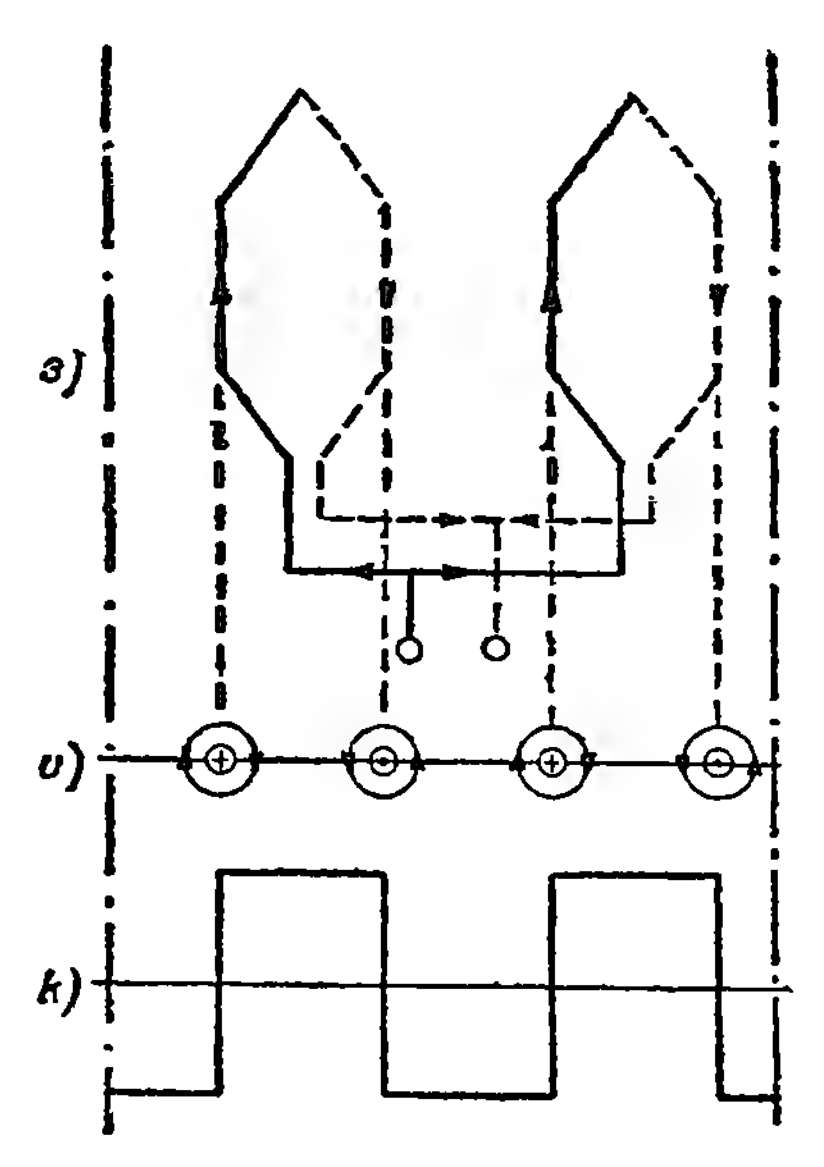


Рис. 159. Образование полей с $2p = 2$ и $2p = 4$.

обмотки каждой фазы совершенно одинаковы, то рассмотрение образования магнитного поля на другое число полюсов мы можем производить на одной фазе.

На рис. 158, *а* в виде двух слоев изображена упрощенная схема двухслойной обмотки с $2p = 2$ и диаметральным шагом катушек. Участки обмотки статора, занятые проводниками одной фазы, заштрихованы.

На рис. 158, *б* изображена та же упрощенная схема в развернутом виде, а на рис. 158, *в* — схема обмотки одной фазы при $q = 1$.

Предположим, что в какой-то момент времени ток входит в обмотку через зажим U.

Тогда распределение тока и направление силовых линий потока изобразятся рис. 158, *г*. Кривая магнитодвижущей силы и кривая распределения магнитного потока (пренебрегаем магнитным сопротивлением железа) изобразятся кривой рис. 158, *д*. Этот рисунок пока-

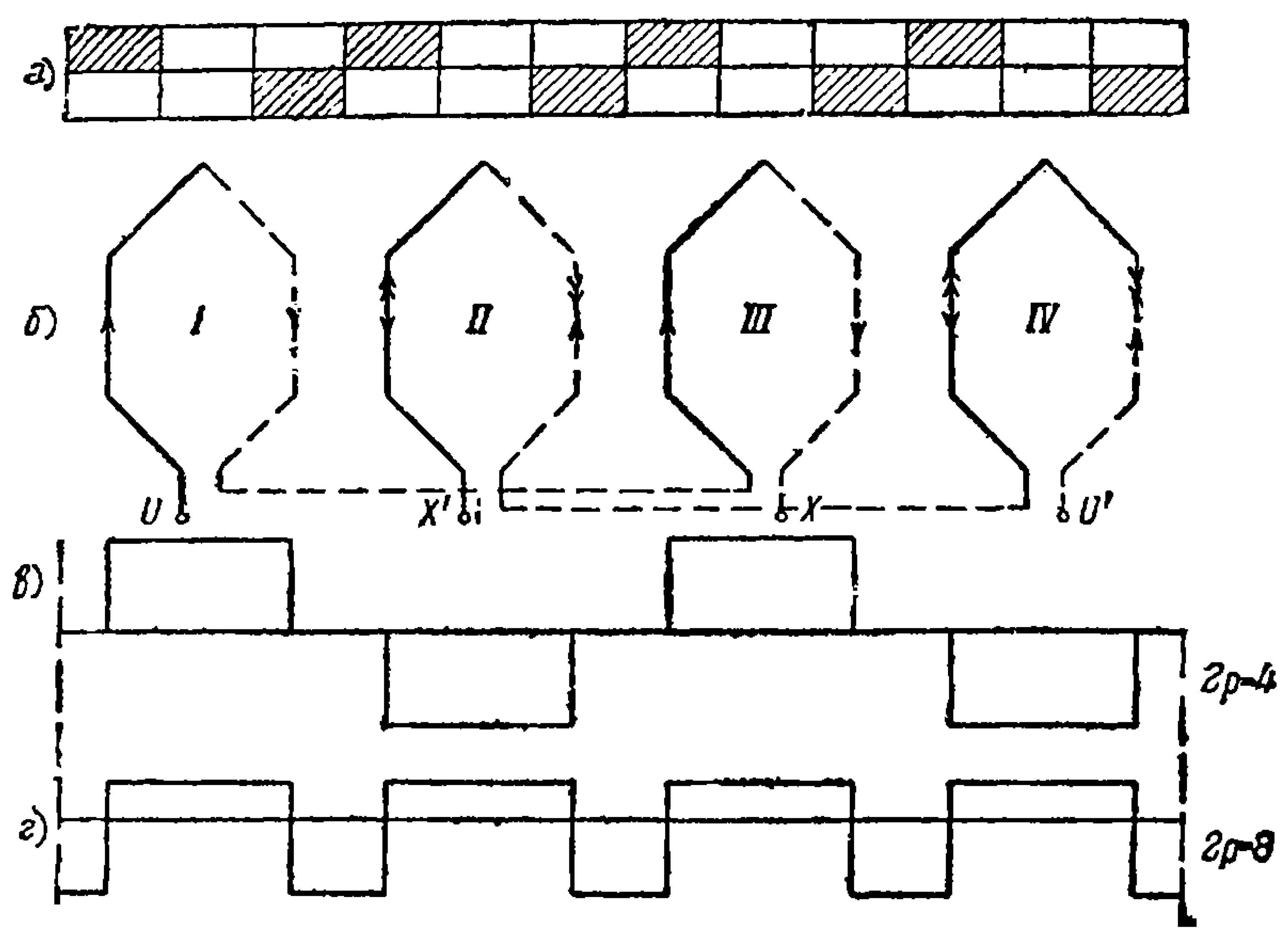


Рис. 160. Образование полей с $2p = 4$ и $2p = 8$.

зывает, что катушечные группы одной фазы создают два полюса. Катушечные группы двух других фаз также создадут по два полюса.

В результате наложения друг на друга этих магнитных полей получим магнитное поле с двумя полюсами.

Посмотрим теперь, что будет с кривой поля, если мы сократим ширину катушки в два раза, не меняя соединения катушечных групп между собой (рис. 159, *в*). В этом случае упрощенная развернутая схема изобразится рис. 159, *а* и *б*, а распределение тока и силовых линий — рис. 159, *г*. Строя кривые м. д. с. для отдельных катушек — кривые м. д. с. *I* и м. д. с. *II* (рис. 159, *д* и *е*) — и складывая их, получим результирующую м. д. с. (рис. 159, *ж*), показывающую, что в этом случае мы получаем те же два полюса. Влияние укорочения шага сказалось в изменении кривой поля и в ухудшении использования обмотки.

Если теперь изменить на обратное направление тока в одной из катушечных групп, т. е. включить катушечные группы таким образом,

чтобы направление тока в соседних сторонах смежных катушечных групп было противоположным, то, как видно из рис. 159, *з*, *и* и *к*, обмотка одной фазы создаст четыре полюса.

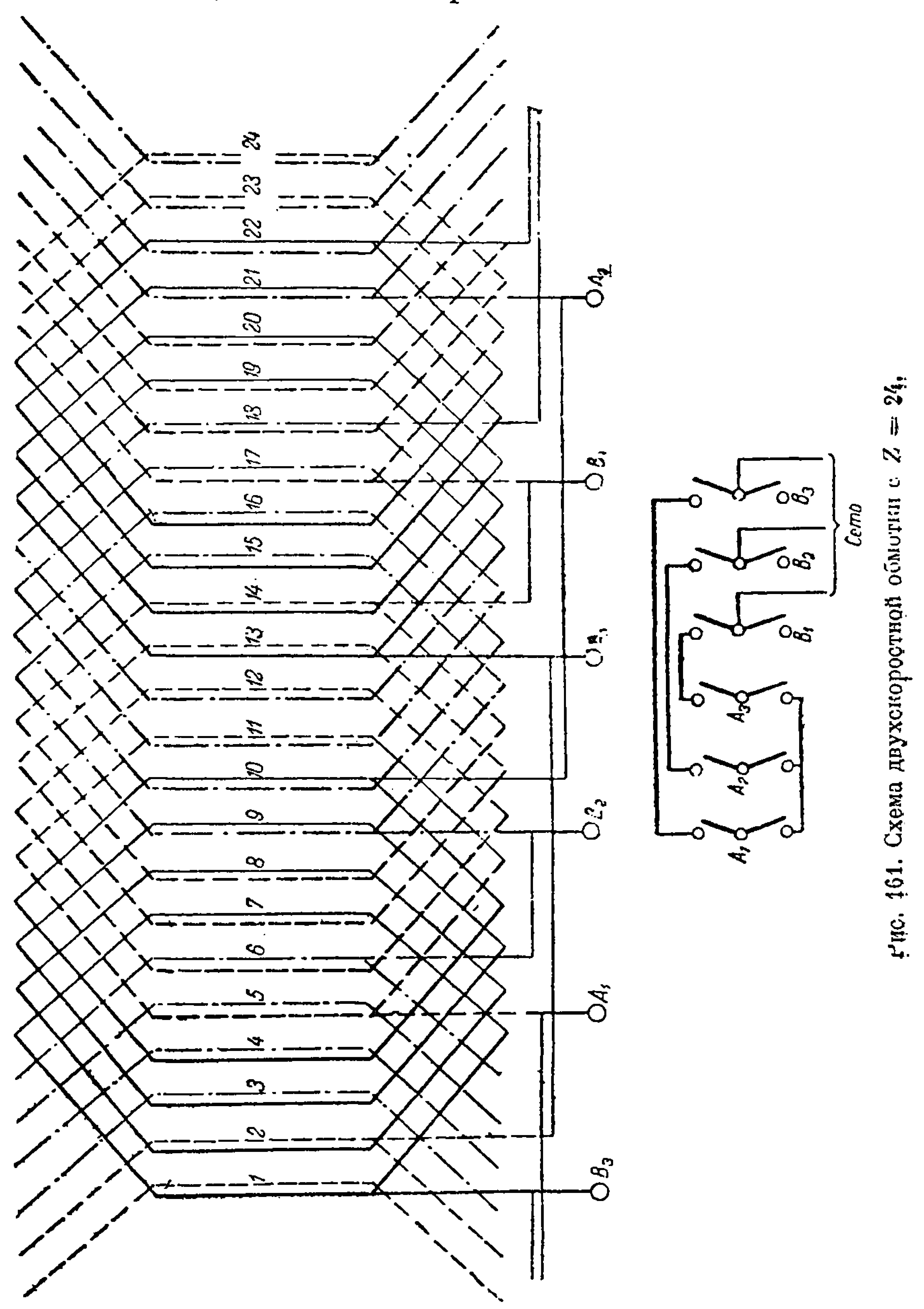


Рис. 161. Схема двухскоростной обмотки с $Z = 24$.

Число полюсов увеличится в два раза и в том случае, если мы сократим шаг катушки не в два раза, а меньше. Так, например, на рис. 160

ширина катушки взята равной $\frac{2}{3}\tau$ (τ — полюсный шаг для меньшего числа полюсов).

На рис. 160, *а* изображена упрощенная развернутая схема, причем фазные зоны одной фазы заштрихованы. На рис. 160, *б* изображена схема обмотки одной фазы при $q = 1$.

Из рис. 160 видно, что если мы разобьем катушечные группы на две параллельные ветви *I—III* и *II—IV*, то при нормальном включении параллельных ветвей, т. е. когда ток в соседних сторонах смежных катушечных групп будет иметь одинаковое направление, обмотка создаст число полюсов $2p = 4$ (рис. 160, *в*). Если теперь изменить направление тока в одной из параллельных ветвей на обратное (двойные стрелки), то обмотка создаст число полюсов $2p = 8$ (рис. 160, *г*), т. е. в два раза больше.

Общее правило для образования схем двухскоростных обмоток:

1. Изготовить Z катушек с шагом, меньшим полюсного деления при меньшем $2p$ и бо́льшим полюсного деления при большем $2p$.

2. Соединить катушки каждой фазы последовательно в катушечные группы, число которых равно меньшему числу полюсов.

3. Для получения меньшего числа полюсов соединить между собой катушечные группы последовательно или параллельно нормальным порядком, — направление тока в соседних сторонах смежных катушечных групп должно быть одинаковым.

4. Для получения большего числа полюсов соединить между собой катушечные группы последовательно или параллельно таким образом, чтобы направление тока в соседних сторонах смежных катушечных групп было противоположным.

Способы соединения между собой катушечных групп и сопряжения фаз определяются при расчете двигателя в зависимости от условий работы при измененной скорости.

На рис. 161, *а* изображена полная схема двухскоростной обмотки на 1500 и 3000 *об/мин* при $Z = 24$.

На рис. 161, *б* дана схема переключателя.

При включении переключателя на верхние контакты получаем $n_c = 1500$ *об/мин*. При включении переключателя на нижние контакты получаем $n_c = 3000$ *об/мин*.

ОТДЕЛ ВТОРОЙ

МАТЕРИАЛЫ И КОНСТРУКЦИИ ОБМОТОК

ГЛАВА III

КРАТКИЕ СВЕДЕНИЯ О МАТЕРИАЛАХ ДЛЯ ОБМОТОК ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН

1. МЕТАЛЛЫ

Медь. Для обмоток электрических машин применяется исключительно электролитическая отожженная красная медь. Наибольшее удельное сопротивление обмоточной меди, приведенное к температуре 20° С, должно быть не более 0,01784 Ω *мм²/м*.

Медь для обмоток электрических машин употребляется как голая, так и изолированная. В первом случае медь изолируется перед вкладкой в пазы. В роторах же асинхронных электродвигателей с короткозамкнутым ротором применяется голая медь. Изолированная медь большей частью бывает с изоляцией из хлопчатобумажной пряжи (нитки) в один или два слоя, и сверх этого надевается оплетка («чулок») из хлопчатобумажной пряжи. В электромашиностроении применяются изолированные провода следующих типов или марок согласно ОСТ 4123: ПБО (проволока с одним слоем хлопчатобумажной изоляции), ПБД (с двойной хлопчатобумажной изоляцией), ПЭБО (провод эмалированный с одним слоем хлопчатобумажной изоляции), ПЭБД (провод эмалированный с двойной хлопчатобумажной изоляцией), ПБОО (провод бумажный с одним слоем хлопчатобумажной изоляции плюс хлопчатобумажная оплетка).

Кроме указанных марок проводов, применяется и эмалированная медная проволока с шелковой изоляцией марки ПЭШО (провод эмалированный с ординарной шелковой изоляцией), а также марки ПЭШД (провод эмалированный с двойной шелковой изоляцией).

Кроме вышеуказанных проводников, применяется проводник, называемый литцей; он имеет обычно прямоугольную форму и обладает большой гибкостью, так как состоит из нескольких скрученных тонких медных проводников. Размеры обмоточной меди и вес ее в Советском Союзе стандартизованы (см. приложение III).

Алюминий. В массовом производстве небольших асинхронных машин с короткозамкнутым ротором, мощностью до 50 kW, обмотку роторов выполняют часто вместо красной меди из алюминия.

Применяемый в этих случаях алюминий должен быть чистым, рафинированным. Алюминий в природе никогда не встречается в чистом виде, а преимущественно в соединении с кислородом в виде глинозема

или кремнезема, образуя составную часть каменных пород. Алюминий ранее ввозился из-за границы, в настоящее время производится в СССР.

Олово. Для пайки соединений обмоток крупных машин применяется почти чистое олово с температурой плавления 220—230°С или припой (сплав олова и свинца) с более высокой температурой плавления, чем чистое олово; изредка применяется сплав, носящий название «третник», с содержанием 30% олова и 70% свинца и обладающий более высокой температурой плавления (257°), чем чистое олово.

Серебро. Для пайки обмотки крупных машин, например катушек роторов синхронных машин, в качестве спаивающего материала применяется серебро либо в чистом виде, либо в виде сплава, носящего название серебряного припоя. Точка плавления припоя может быть различна, в зависимости от сплава.

2. ИЗОЛЯЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ

Изоляция обмотки электрической машины является одним из наиболее важных ее элементов. Основное назначение изоляции — изолировать обмотку от прохождения тока в железные части машины, а также в те части обмотки, которые по условиям работы должны быть разобщены. Поэтому материалы, идущие на изготовление изоляции, не должны проводить тока и разрушаться (пробиваться) под действием того напряжения, какое может возникнуть между изолируемыми друг от друга частями машины.

Кроме этого основного условия, изоляционные материалы должны удовлетворять и другому, не менее важному. Известно, что обмотка машины нагревается под действием протекающего в ней тока. Этот нагрев передается также и изоляции. Чем больше плотность тока в проводниках обмотки, тем выше температура, развивающаяся в машине. При расчете и конструировании машины всегда стремятся достигнуть наивысших плотностей тока, так как при этом можно взять меньшее сечение проводников и, следовательно, получить экономию меди, т. е. сделать машину дешевле. Применяемая изоляция должна безболезненно выдерживать ту температуру, какая развивается при работе машины. Все виды применяемой изоляции, согласно ОСТ 3889, разделяются на четыре класса в зависимости от той температуры, при которой они могут длительно работать, не теряя изоляционных свойств.

Класс O. Непропитанные и непогруженные в масло волокнистые материалы, хлопчатобумажная пряжа и ткань, натуральный шелк, бумага и тому подобные органические вещества. Наибольшая допустимая температура 80° С.

Класс A. Пропитанные или погруженные в масло волокнистые материалы, как-то: хлопчатобумажные ткани, пряжа, бумага, шелк и др. К этому классу относится также эмаль, служащая для покрытия проводников. Наибольшая допустимая температура 95° С.

Класс B. Препараты из слюды, асбеста и тому подобных материалов минерального происхождения со связующими веществами. Сюда относятся миканит, микафолий, микалента. Наибольшая допустимая температура 115° С.

Класс C. Чистая слюда без связующих материалов, чистый асбест, фарфор, стекло и другие подобные материалы. Так как к этому

классу отнесены очень теплостойкие материалы, то наибольшая температура для них не указывается. Допустимая для этих материалов температура ограничивается допустимым нагревом соседних с ними материалов.

Рассмотрим вкратце изоляционные материалы, применяемые в электромашиностроении.

Прессшпан употребляется преимущественно как пазовая изоляция и как материал для разного рода изоляционных прослоек и прокладок. Его производство близко к производству простого картона, но отличается лучшим подбором сырья. Плотность его достигается применением больших давлений. Прессшпан употребляется как непропитанный, так и пропитанный в льняном масле или олифе. Пропитка повышает его изолирующие свойства. Он имеет вид глянцевитого картона светложелтого и красноватого цвета, обладает способностью впитывать влагу из воздуха. Толщина его от 0,1 до 3 *мм*. В готовом виде прессшпан бывает в рулонах и листах, шириной 1 *м*.

Летероид применяется, как и прессшпан, для пазовой изоляции и обладает значительной механической прочностью, не боится острых краев железа. Изготовляется летероид из хлопкового волокна и для уменьшения гигроскопичности часто пропитывается лаками и маслами. Темносерого цвета, очень плотный и жесткий. Бывает в рулонах, шириной 1 *м*, толщиной от 0,1 *мм* и выше.

Фибра представляет собой прессованную массу, в состав которой входят бумага или целлюлоза, хлористый цинк и различные красящие вещества. Все это прессуется под нагревом и большим давлением. Имеется различных цветов: черная, красная и серая. Вследствие своего основного недостатка — способности впитывать влагу из окружающего воздуха — применяется обычно для разного рода распорок и прокладок, где требуются жесткость и прочность при невысоких изоляционных требованиях.

Хлопчатобумажная лента употребляется в больших количествах для изолировки лобовых частей обмоток, всевозможных соединений, проводников и шин, а также как междувитковая изоляция. Непропитанная лента очень гигроскопична и представляет собой слабый изолятор. Поэтому секции или катушки, изолированные лентой, обычно после изолировки пропитываются лаками. Лента имеет различную ширину — от 10 до 50 *мм* — и толщину — от 0,1 до 0,25 *мм*. Выделываются три сорта хлопчатобумажной ленты: тафтяная, киперная и миткалевая. Первая и третья имеют гладкую поверхность, а вторая — шероховатую (с елочками). Киперная лента обычно употребляется для предварительных и более сильных механических скреплений как обладающая большой прочностью.

Бакелизированная бумага представляет собой тонкую бумагу (толщина от 0,05 до 0,1 *мм*), покрытую с одной стороны бакелитовым лаком. Применяется как изоляция для роторных и якорных стержней и пазовой изоляции секций. Для этого пазовую часть роторного стержня обертывают бакелизированной бумагой. Бакелитовый лак, будучи нагрет, переходит в свое конечное состояние и связывает бумагу, превращая слои ее в твердую массу. Бакелизированная бумага негигроскопична. Максимальная температура, при которой она может применяться,

составляет 95° С. При дальнейшем повышении температуры бумага начинает быстро стареть, т. е. ее изоляционные свойства ослабляются.

Лакоткани, или *лакированные ткани*. Под этим названием обычно понимается тонкое полотно или батист, пропитанное лаком особого состава, который изготовляется из льняного масла. Лакоткани имеют вид полупрозрачной, глянцевитой, желтоватой клеенчатой материи, не пропускающей влаги. Применяются они, главным образом, для изоляции лобовых и пазовых частей секций, а также всевозможных выводных частей машин (выводные концы, токоотводы и т. д.). Толщина лакоткани от 0,1 до 0,5 *мм*, ширина в рулонах 1 *м*. В лентах лакоткань бывает той же толщины и шириной от 10 до 40 *мм*. Ранее лакоткань привозилась из-за границы, в настоящее время изготовляется в СССР на ленинградском заводе «Электросила» им. Кирова и на Харьковском электромашиностроительном заводе (ХЭТЗ) им. т. Сталина.

Гэтинакс представляет собой бумагу, пропитанную бакелитовым лаком и спрессованную в несколько слоев при высоком давлении и определенной температуре в течение определенного времени. Он является хорошим изолятором и по своим механическим свойствам поддается хорошей обработке — обточке, опиловке и сверловке. Употребляется для распорок, укрепительных гребенок и т. д.

Слюда представляет собой прозрачный слоистый минерал, обладающий очень высоким изолирующим качеством. В чистом виде она применяется редко, так как пластины ее обычно небольших размеров; она идет главным образом на изготовление миканита, микафолия и микаленты. Слюда белая прозрачная носит название м у с к о в и т а, а темная — ф л о г о п и т а. В качественном отношении мусковит выше флогопита.

Миканит. При изготовлении миканита листки щипаной слюды склеиваются лаком, обычно шеллачным, но иногда и асфальтовым. В зависимости от качества шеллачного лака получаются разные миканиты: с малым присутствием шеллака — твердые миканиты, идущие для изоляции, где требуется большая твердость, а с большим количеством шеллачного лака — мягкие миканиты, которые при обычной температуре тверды, но при нагреве до 100° С и выше становятся пластичными. Мягкие миканиты идут для всевозможных изолировок металлических частей и подкладок — болтов, шайб и т. п. — толщиной от 0,5 *мм* и выше.

Микафолий. Это — щипаная тонкая слюда, наклеенная на тонкую кабельную или японскую бумагу при помощи шеллачного лака в один, два или три слоя. Толщина его обычно бывает от 0,20 *мм* и выше. Материал получается мягкий и легко наворачивается на любую форму. Микафолий употребляется в качестве пазовой изоляции высоковольтных машин благодаря своей высокой электрической прочности.

Микалента — щипаная на очень тонкие листочки слюда, наклеенная в один слой на тонкую японскую бумагу, промазанную асфальтовым лаком Употребляется как изоляция стержней роторов и якорей и секций статоров высоковольтных машин. Сохраняется микалента в жестяных банках в сырых помещениях. На воздухе она быстро высыхает, теряет свою эластичность и делается очень хрупкой.

Шеллак. Сырой шеллак представляет собой смолу, которая образуется на ветвях тропических растений. Обработанная, очищенная и переплавленная смола носит название шеллака и имеет вид мелких чешуек оранжевого, лимонного и рубинового цвета. Лучший сорт шеллака лимонного цвета. Шеллак содержит до 8% шеллачного воска, нерастворимого в воде. Плавится он при температуре 100—120° С. Растворенные в спирту чешуйки шеллака образуют шеллачный лак, широко применяемый в качестве клеющего вещества при изготовлении миканита и микафолия, а при мелких изоляционных работах — в качестве пропитанного лака.

В производстве следует применять шеллак с осторожностью ввиду его гигроскопичности, что может вредно повлиять на хлопчатобумажную ткань и медь.

Бакелит. Искусственная смола, нагреваемая до температуры 100° С, образует продукт, легко растворимый в спирту. Применяется для изготовления бакелитовых лаков. При нагреве бакелит переходит из одного состояния в другое — из жидкого в пластическое — и по охлаждении твердеет. Достоинства бакелитового лака: высокая теплостойкость, механическая и электрическая прочность. Затвердевая, дает твердую компактную массу.

Асфальтовые лаки. Они представляют собой асфальто-минеральную смолу, растворенную в скипидаре, алкоголе и бензоле. Бывают печной и воздушной сушки. Покрытые лаками части — не боятся перегибов и обладают хорошей электрической прочностью. Лаки печной сушки применяются, главным образом, для пропитки обмоток. Лаки воздушной сушки применяются как покровные, защитные лаки.

Лаки и их растворители — см. табл. 10.

Паста ЭЛСИ (завод «Электросила») представляет собой изоляционную массу. Пропитанные обмотки машин обмазываются этой пастой и после этого направляются в печь для высыхания. Паста состоит из изолирующих лаков и из диэлектрического заполнителя. Она является хорошим диэлектриком и защищает обмотки от разрушения изоляции в сырых и влажных помещениях, а также от действия кислотных паров.

Компаунды. Для пропитки катушек применяются смеси различных асфальтов с вазелином, канифолью, иногда при этом прибавляются парафин и воск, а в жидкость, образующуюся при нагревании этих смесей, прибавляют тяжелые нефтяные масла. Точки размягчения компаундов различны — в зависимости от их состава.

Пропитка таким компаундом ведется после сушки обмотки под вакуумом. Компаундировка применяется для обмоток статоров высоковольтных машин, а также и для обмоток статоров машин, работающих в особых условиях окружающей среды.

Асбестовое полотно применяется для изолировки катушек роторов генераторов. Толщина его от 0,25 *мм* и выше. Изготовляется из асбеста особого вида, специально обработанного. Асбестовое полотно вследствие присутствия в нем железистых включений обладает невысокой электрической прочностью.

Асбестовая лента применяется для поверхностной изоляции катушек обмоток. Лента вследствие железистых включений служит полу-

Таблица 10

Лаки и их растворители

№ лака	Производители	Название	Растворители	Удельный вес	Характеристика
441	ХЭМЗ	Асфальтово-масляный	Бензин, толуол	0,820—0,930	Черный клеющий лак; применяют для клейки микаленты, идущей на изолировку статоров высоковольтных машин
458	ХЭМЗ	То же	Бензин, бензол	0,925—0,935	Черный пропиточный лак печной сушки
460	ХЭМЗ	» »	Бензол, бензин	0,870—0,890	Черный пропиточный лак, эластичный, длительной сушки, противосыростный
462	ХЭМЗ	» »	Бензин, бензол	0,926—0,935	Черный отделочно-покровный лак; употребляется для подмазки микаленты; покровный лак цементирующий
842	ХЭМЗ	» »	Бензин, ксилол	0,825—0,840	Черный пропиточный эластичный лак, длительной печной сушки
851	ХЭМЗ	» »	Бензол, бензин	0,920—0,935	Черный отделочно-покровный; дает твердую, слегка хрупкую пленку; воздушной сушки
319	«Красный маляр»	» »	Скипидар, бензин	0,870—0,890	Черный лак, аналогичный № 842
316	«Красный маляр»	» »	Бензин	0,865—0,885	Черный покровный, аналогичный № 851
214	ХЭМЗ	Копало-масляный	Бензол	0,910—0,920	Светлый клеющий лак; идет для склейки роторной микаленты
152	ХЭМЗ	То же	Бензин, ксилол	0,845—0,885	Светлый отделочный лак; идет для оклейки роторной микаленты и пропитки асбестовой ткани и бумаги для роторов
8	«Электросила»	Масляный	Бензин, ксилол	0,840—0,850	Светлый лак; применяется для изготовления желтой лакоткани

проводником, поэтому, являясь защитой микаленты, она в то же время не создает воздушных мешков между микалентой и железом паза, что очень важно для высоковольтных машин.

ГЛАВА IV

КОНСТРУКЦИЯ ОБМОТОК МАШИН ПОСТОЯННОГО ТОКА

1. О КОНСТРУКЦИИ ОБМОТКИ ЯКОРЯ

Обмотка якоря состоит из отдельных элементов, или так называемых с е к ц и й. Отдельная секция изготовляется из медных проводников круглого или прямоугольного сечения. Для изготовления секций применяются либо голые проводники, либо проводники, изолированные хлопчатобумажной пряжей. При применении голых проводников последние изолируются хлопчатобумажной миткалевой лентой.

Вся секция или несколько секций покрываются общей изоляцией.

Изолированные таким образом секции укладываются в пазы якорного железа и соединяются между собой. Это соединение отдельных секций, а также присоединение их к коллектору производится по соответствующей схеме. Применяемые в современных машинах постоянного тока якорные обмотки могут быть подразделены на два основных типа: стержневые и катушечные.

С т е р ж н е в ы м и о б м о т к а м и называются такие обмотки, секции которых состоят из двух полусекций, соединяемых между собой при укладке обмотки.

К а т у ш е ч н ы м и о б м о т к а м и, в противоположность стержневым, называются такие обмотки, секции которых представляют собой одно целое. [1]

На рис. 162 и 163 показаны полукатушка стержневой обмотки и катушка катушечной обмотки.

И тот и другой тип обмоток выполняются на специальных приспособлениях, так называемых «шаблонах», почему эти обмотки и получили общее название ш а б л о н н ы х о б м о т о к.

Только в самых мелких машинах, например в моторах для комнатных вентиляторов, киноаппаратов и тому подобных маломощных механизмов, применяются обмотки якорей, выполняемые вручную.

2. КАТУШЕЧНАЯ ОБМОТКА

Секция катушечной обмотки изготовляется путем намотки проводника на шаблоне. Получаемой таким образом катушке придается соответствующая форма. Катушка может состоять как из одной, так и из нескольких секций. В последнем случае намотку катушки производят из проводников, сматываемых одновременно с нескольких барабанов.

[1] Некоторые авторы называют стержневыми обмотками, в отличие от катушечных, обмотки, выполняющиеся из проводников большого сечения, независимо от того, состоит ли секция из двух полусекций или представляет одно целое.

При больших сечениях проводники имеют большую жесткость. Поэтому изготовление катушек в этом случае является затруднительным. С целью облегчения намотки катушки при больших сечениях секции изготовляются из нескольких параллельных проводников или жил.

Как было показано в главе I, обмотки якорей машин постоянного тока выполняются *волновыми* или *петлевыми*.

Рис. 162. Полукатушка стержневой обмотки.

Рис. 163. Катушка катушечной обмотки.

Катушки соответствующих обмоток различаются по своей форме, причем секции, входящие в состав катушки, могут состоять из одного или нескольких витков.

Таким образом нужно различать четыре основных типа катушки.

1. Одновитковая катушка волновой обмотки.
2. Многовитковая катушка волновой обмотки.
3. Одновитковая катушка петлевой обмотки.
4. Многовитковая катушка петлевой обмотки.

А. Одновитковая катушка волновой обмотки

На рис. 164 показана одновитковая катушка волновой обмотки, состоящая из трех секций. В каждой секции один виток. Буквами H_1,

H_2 и H_3 обозначены начала секций, буквами K_1, K_2 и K_3 — концы тех же секций.

Как видно из рис. 164, одновитковая катушка представляет собой незамкнутую фигуру. Стороны катушки *аб* и *вг* лежат в пазах якоря и носят название **пазовой части** катушки. Части *адв*, *бе* и *гж* называются **лобовыми частями**. Часть *адв* расположена со стороны, противоположной коллектору. Части *бе* и *гж* лежат со стороны коллектора.

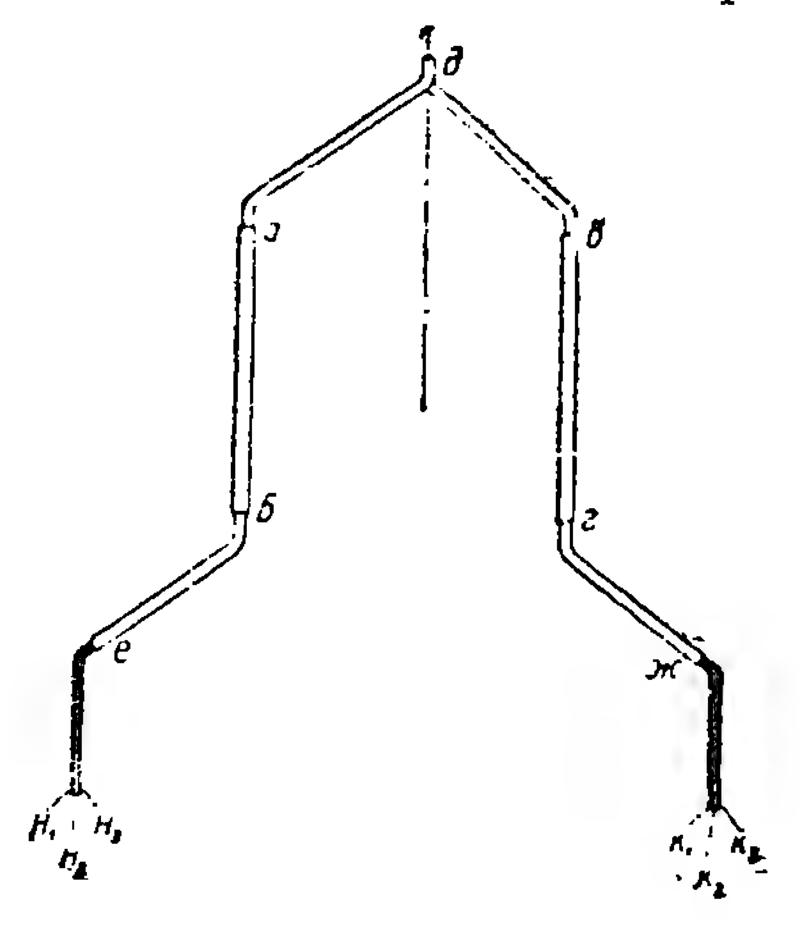


Рис. 164. Одновитковая катушка волновой обмотки.

Пазовые части *аб* и *вг* лежат в разных плоскостях. При укладке катушки в пазы якоря часть *аб* занимает верхнюю половину паза, а часть *вг* — нижнюю половину.

Обмотки с таким расположением катушечных сторон называются **двухслойными**. Переход от стороны *аб*, лежащей в одной плоскости, к стороне *вг*, расположенной в другой плоскости, осуществляется путем перегиба в лобовой части. Этот перегиб, выполняемый по определенному радиусу, образует так называемую головку катушки. Выводные концы катушки *Н* и *К* присоединяются к пластинам коллектора.

Б. Многовитковая катушка волновой обмотки

На рис. 165 показана многовитковая катушка волновой обмотки, состоящая из двух секций. Каждая секция состоит из двух витков. Схематическое изображение этой катушки представлено на рис. 166.

Как видно из рис. 165 и 166, многовитковая катушка представляет собой замкнутую фигуру, что и отличает ее по внешнему виду от одновитковой катушки.

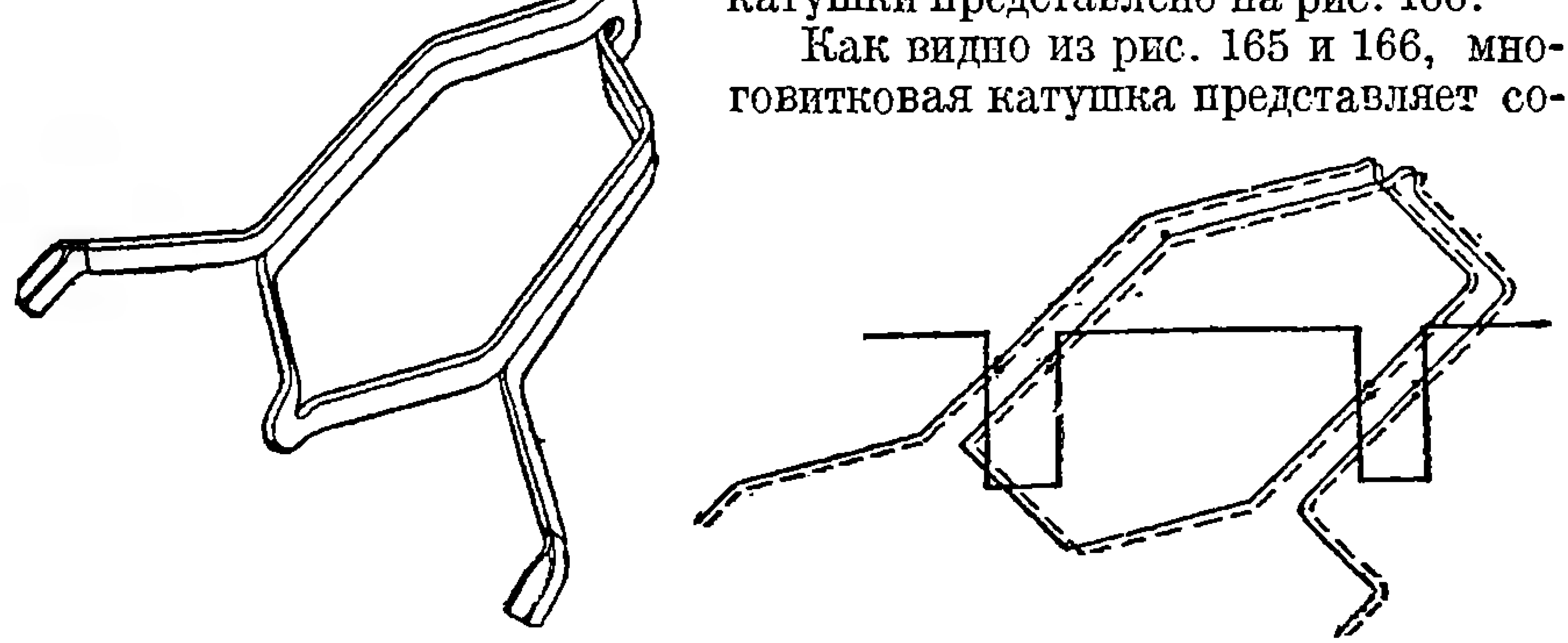


Рис. 165. Катушка волновой обмотки с двойной головкой.

Рис. 166. Схематическое изображение катушки по рис. 165.

На рис. 165 и 166 видно, что головка катушки отличается от головки катушки с одним витком. Для того чтобы концы катушки на стороне коллектора получились сверху и снизу, необходимо головку раздвоить, т. е. произвести перекрещивание витков. При этом верхний проводник верхнего слоя одной стороны катушки переходит в верхний проводник нижнего слоя другой стороны катушки, и выводные концы катушки получаются, таким образом, сверху и снизу. Если у головки не производить перекрещивания витков, то один из выводных концов получится выходящим из середины катушки, что представляет затруднения для присоединения концов к коллектору.

На рис. 165 и 167 показано расположение концов при перекрещенной и неперекрещенной головках. Перекрещенная головка получила в практике наименование д в о й н о й г о л о в к и. Несмотря на то, что двойная головка требует больше места, катушки с такими головками применяются чаще — благодаря большей простоте в присоединении выводных концов.

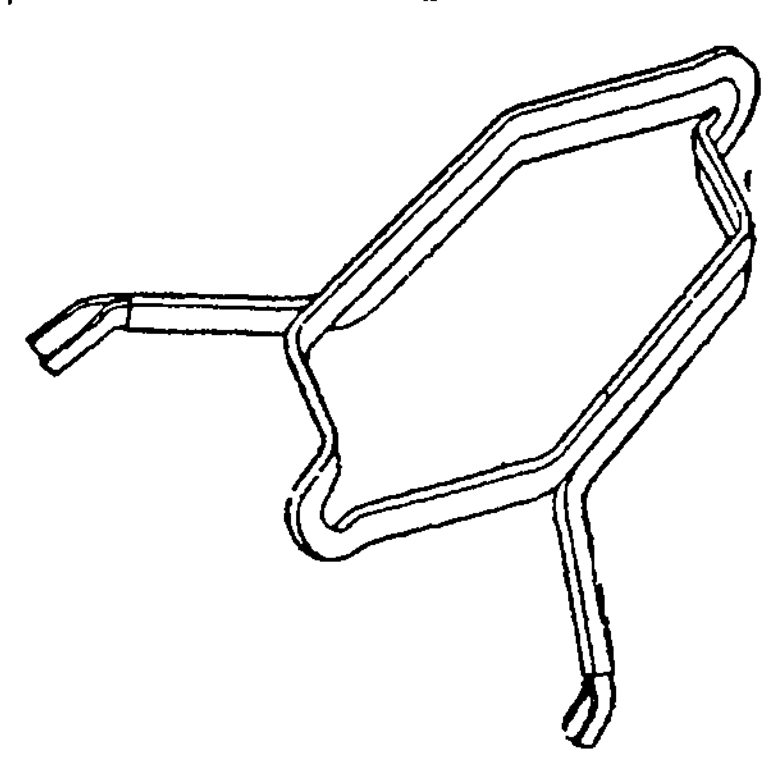


Рис. 167. Катушка волновой обмотки с одной головкой, состоящая из двух секций с двумя витками в секции.

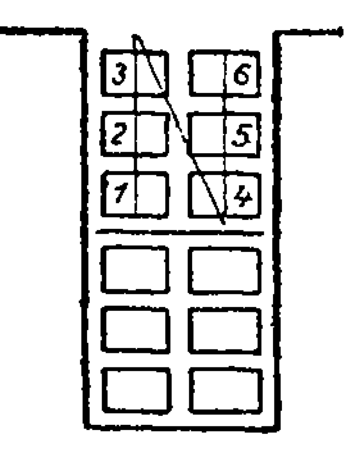


Рис. 168. Расположение витков в поперечном сечении катушки.

Рассмотренные нами катушки состоят из секций, имеющих два витка. Выполнение катушек, состоящих из секций с числом витков более двух, ничем не отличается от вышеописанных катушек.

Описанные катушки получили в настоящее время наибольшее распространение. Расположение проводников в поперечном сечении таких катушек показано на рис. 168.

Витки каждой секции катушки лежат один над другим, а витки разных секций лежат рядом в одной горизонтальной плоскости.

В. Одновитковая катушка петлевой обмотки

На рис. 163 показана одновитковая катушка петлевой обмотки, состоящая из двух секций. В каждой секции один виток. Из сравнения рис. 163 и 164 видно, что катушка петлевой обмотки отличается от катушки волновой обмотки только направлением выгиба лобовых частей со стороны коллектора.

Г. Многовитковая катушка петлевой обмотки

Так же как в катушках волновой обмотки, в катушках петлевой обмотки желательно, чтобы концы катушки выходили сверху и снизу катушки.

Поэтому в этих катушках обычно тоже применяют двойную головку, с перекрещиванием витков на стороне, противоположной коллектору.

На рис. 169 и 170 показаны многовитковые катушки петлевой обмотки с одной и двойной головкой.

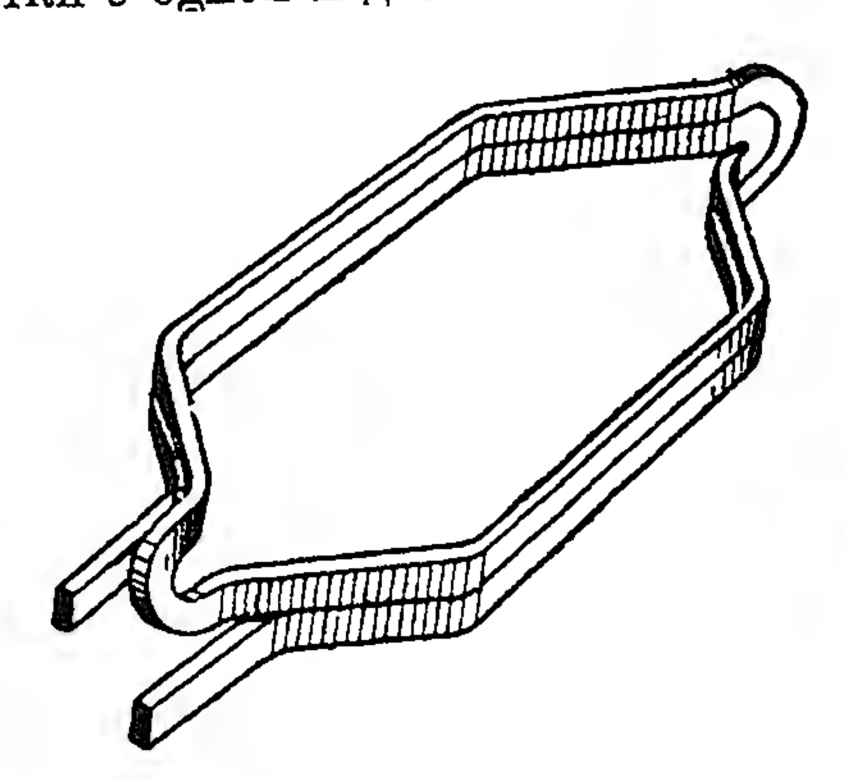


Рис. 169. Многовитковая катушка петлевой обмотки с одной головкой.

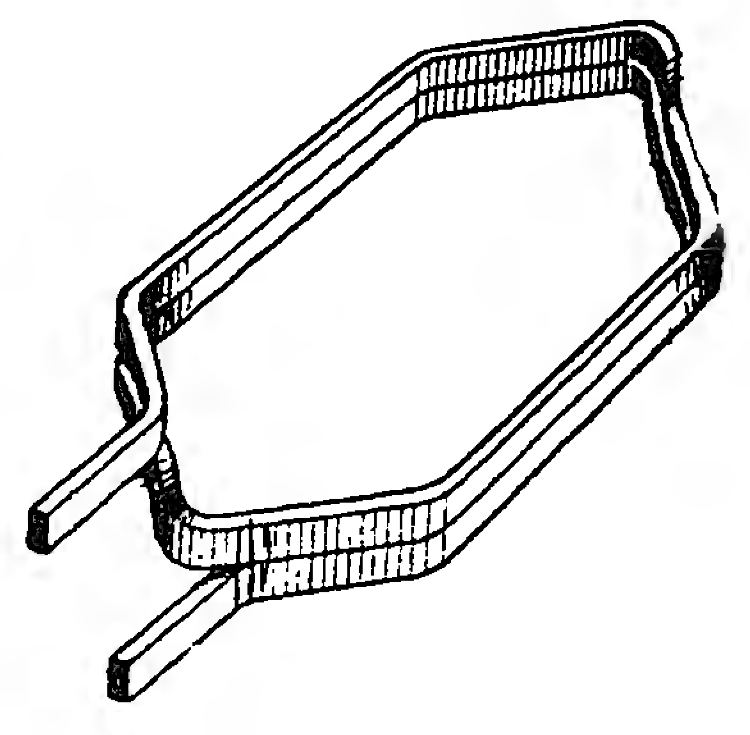


Рис. 170. Многовитковая катушка петлевой обмотки с двойной головкой.

3. СТЕРЖНЕВАЯ ОБМОТКА

При больших силах тока сечения проводников секций получаются настолько большими, что выполнение катушек путем намотки на шаблоне и в особенности выгиб головки представляют большие затруднения. В этих случаях секции обмотки изготовляются из отдельных стержней, называемых полусекциями. Полусекции соединяются между

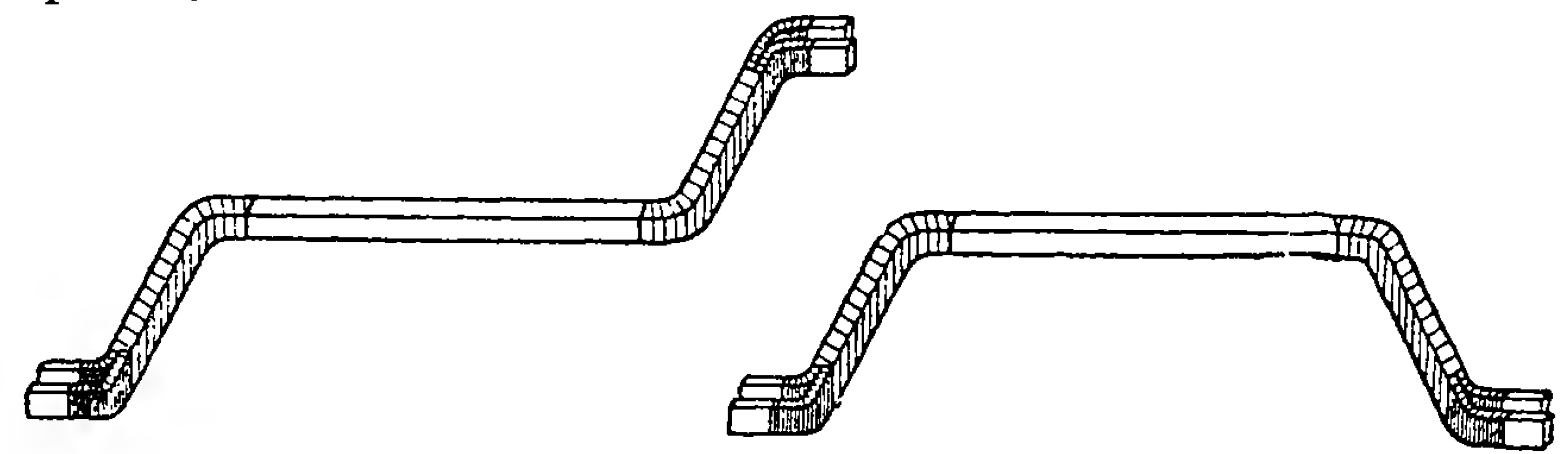


Рис. 171. Стержень полусекции волновой обмотки.

Рис. 172. Стержень полусекции петлевой обмотки.

собой хомутиками и пропаиваются. Это соединение соответствует головке в катушечной обмотке.

Обмотки, выполняемые таким образом, называются с т е р ж н е в ы м и.

Иногда обмотки, состоящие из проводников большого сечения прямоугольной формы, называют стержневыми и в тех случаях, когда они

изготовляются целой секцией и имеют головку так же, как в катушечной обмотке. Они имеют такую же форму, как катушки, показанные на рис. 164.

Стержни полусекций волновой и петлевой обмотки показаны на рис. 171 и 172.

Они изготовляются путем выгиба на специальном шаблоне. Соединение полусекций хомутиками и запайка производятся после укладки в пазы якоря.

При так называемых ступенчатых обмотках расстояние (шаг) между сторонами отдельных секций одной и той же катушки неодинаково, т. е. одни (например левые) стороны всех секций одной катушки лежат в одном пазу, а другие (например правые) стороны этих секций лежат в двух, рядом расположенных пазах.

Такого рода обмотки выполняются всегда в виде стержневых из отдельных полусекций.

На рис. 13 было показано расположение проводников секций в пазах якоря при равносекционной и ступенчатой обмотке.

4. ИЗОЛЯЦИЯ ОБМОТОК ЯКОРЯ

Изоляция обмоток якорей машин постоянного тока обычно выполняется по классам А или В (см. главу III).

Нормальные машины изолируются по классу А. Их основной изоляцией является хлопчатобумажная пряжа или лента, которой изолируются проводники якоря, что и определяет класс изоляции.

В тех случаях, когда к машине предъявляются повышенные требования в смысле их надежности, прибегают к более высокому классу изоляции. Так, например, для машин, работающих в сырых помещениях, в шахтах, на судах и т. п., применяют так называемую противосыростную изоляцию. Для особо ответственных крупных машин повышают класс изоляции, применяя изоляцию классов В, т. е. более теплостойкую изоляцию.

Изоляция обмотки якоря может быть подразделена следующим образом:

А) изоляция проводников;
Б) изоляция между витками;
В) изоляция катушечных сторон в пазу;
Г) изоляция лобовых частей.

По качеству изоляция может быть разделена на:

Д) противосыростная изоляция;
Е) теплостойкая изоляция.

Изоляция креплений обмотки будет рассмотрена отдельно.

Ниже будет описана различная изоляция обмоток якорей.

А. Изоляция проводников

Для изготовления якорных обмоток применяют либо неизолированные (голые) проводники, либо проводники, изолированные одним или двумя слоями хлопчатобумажной пряжи.

Эта изоляция имеет соответственно обозначение ПБО или ПБД.

Катушечная обмотка изготовляется исключительно из изолированных проводников, главным образом с изоляцией ПБД. Стержневые обмотки могут изготовляться как из изолированных, так и из голых проводников. В последнем случае проводники покрываются одним слоем миткалевой ленты.

Лента накладывается по всей длине витка как в пазовой, так и в лобовой частях. Применяемая для изоляции проводника миткалевая лента имеет нормально ширину 15—20 *мм* и толщину 0,15 *мм*.


Рис. 173. Наложение ленты в „полнахлестки"

При наложении ленты витки ее перекрывают друг друга наполовину ширины ленты, т. е. в «полнахлестки», как показано на рис. 173, благодаря чему получается непрерывный слой изоляции без просветов на стыках между витками ленты. При этом односторонняя толщина изоляции равна двум толщинам ленты, т. е. 0,3 *мм*.

Б. Изоляция между витками

В нормальных машинах, напряжением до 500 V, изоляция проводников якоря является вполне достаточной для того, чтобы выдержать те небольшие напряжения, которые существуют между витками одной секции.

Действительно, напряжение между коллекторными пластинами не превышает 35—40 V. Это напряжение является суммой напряжений между отдельными витками. Например, пусть напряжение между витками секции равно 10 V; число витков в секции равно 3. Тогда напряжение между двумя соседними коллекторными пластинами равно $3 \cdot 10 = 30$ V.

Как видно из приведенного примера, напряжение между витками секции равно части напряжения между коллекторными пластинами, которое, как мы видели выше, само невелико.

Что касается напряжения между проводниками, лежащими в одном пазу, но принадлежащими разным секциям, то оно равно полному напряжению между коллекторными пластинами.

Однако в нормальных машинах и здесь обычно ограничиваются изоляцией самих проводников, не прибегая к добавочной изоляции между витками.

На рис. 168 проводники *1*, *2* и *3* принадлежат одной секции. Напряжение между ними равно $^1/_3$ напряжения между коллекторными пластинами.

Проводники *4*, *5* и *6* принадлежат другой секции. Напряжение между проводниками *1* и *4*, *2* и *5*, *3* и *6* равно полному напряжению между соседними пластинами коллектора.

В. Изоляция катушечных сторон в пазу

Все секции, принадлежащие одной катушке (или полусекции при стержневой обмотке), изолируются общей изоляцией от стенок паза. Эта изоляция сообщает катушке не только электрическую прочность, но также механически связывает отдельные секции между собой.

Толщина пазовой изоляции определяется в зависимости от напряжения машины.

Обычно применяют одну и ту же толщину изоляции для всех напряжений до 500 V.

Эта изоляция состоит из двух слоев микафолия, толщиной 0,15 *мм*. Она выступает с обеих сторон железа якоря, включая нажимные пальцы по 8—10 *мм*. Микафолий накладывается вперекрой, причем последний может быть сделан или сбоку, или сверху стороны катушки.

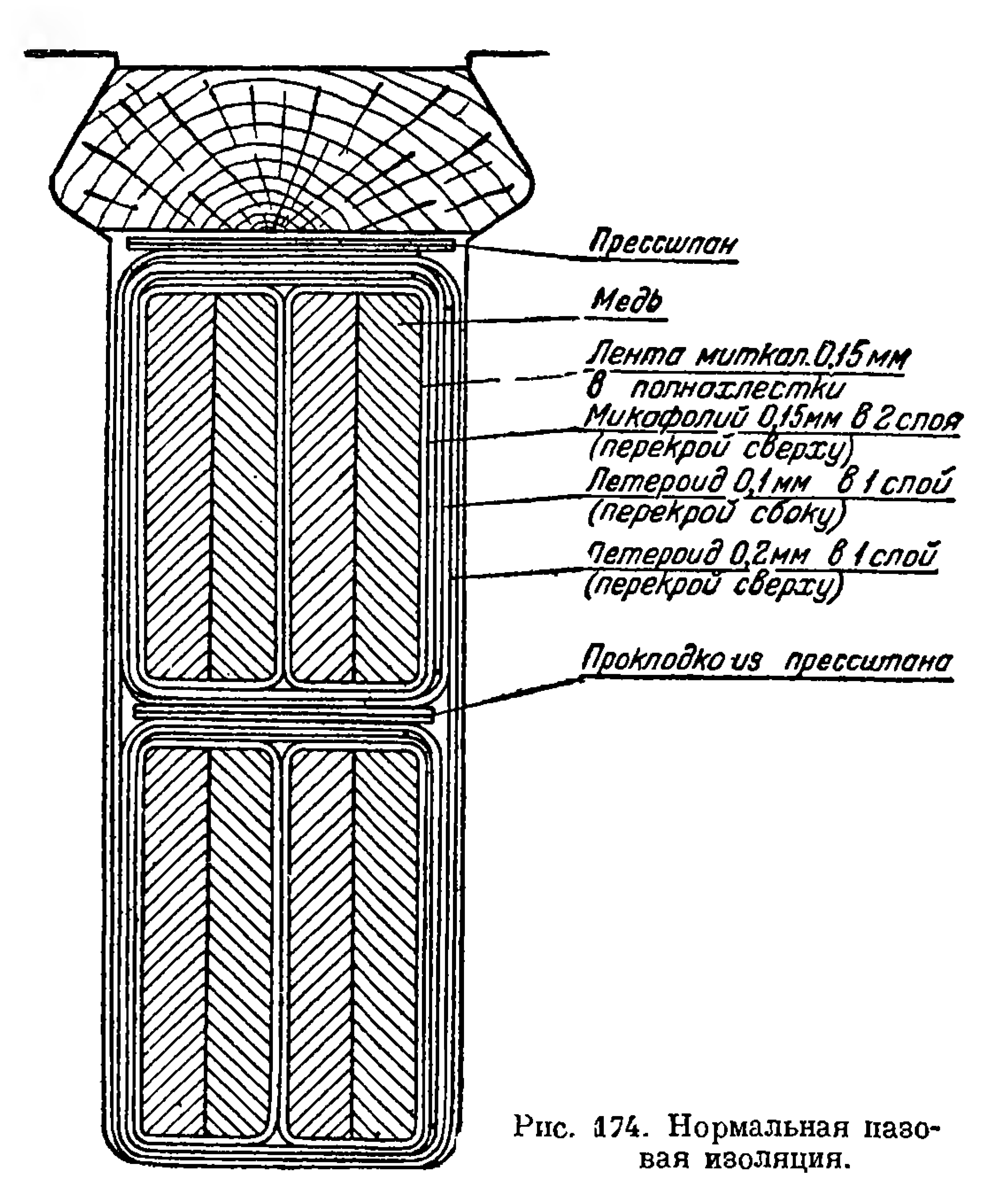


Рис. 174. Нормальная пазовая изоляция.

Для предохранения микафолия от механических повреждений поверх него накладываются вперекрой один слой летероида, толщиной от 0,1 до 0,2 *мм*.

Как известно, железо якоря набирается из отдельных листов с выштампованными пазами. Поэтому поверхность паза не получается абсолютно гладкой. Отдельные листы сдвинуты относительно друг друга на 0,1—0,2 *мм*. Для того чтобы образующиеся таким образом выступы («гребенки») не повредили изоляции катушки, в паз закладывается гильза из прессшпана или летероида, толщиною 0,15—0,2 *мм*.

На рис. 174 изображен разрез паза с нормальной изоляцией.

Как видно из рис. 174, между сторонами отдельных катушек прокладывается полоска из прессшпана, толщиной около 1 *мм*, в зависимости от свободного пространства по высоте паза.

Такая же полоска закладывается под клин, удерживающий обмотку в пазу. Эта полоска предохраняет изоляцию от повреждений при забивании клина.

Г. Изоляция лобовых частей катушки

Лобовые части катушки непосредственно не соприкасаются с железом якоря, поэтому изоляция этих частей по сравнению с пазовыми частями делается облегченной. Благодаря этому улучшается также их охлаждение, так как изоляционные материалы являются плохими проводниками тепла, и чем толще слой изоляции, тем хуже отводится тепло.

В нормальных машинах лобовые части катушек изолируются одним слоем тафтяной ленты, толщиной 0,18 *мм*, в полнахлестки. Кроме того, для большей механической прочности, в местах выхода из паза переход от пазовой изоляции к лобовой покрывается дополнительным слоем этой же ленты.

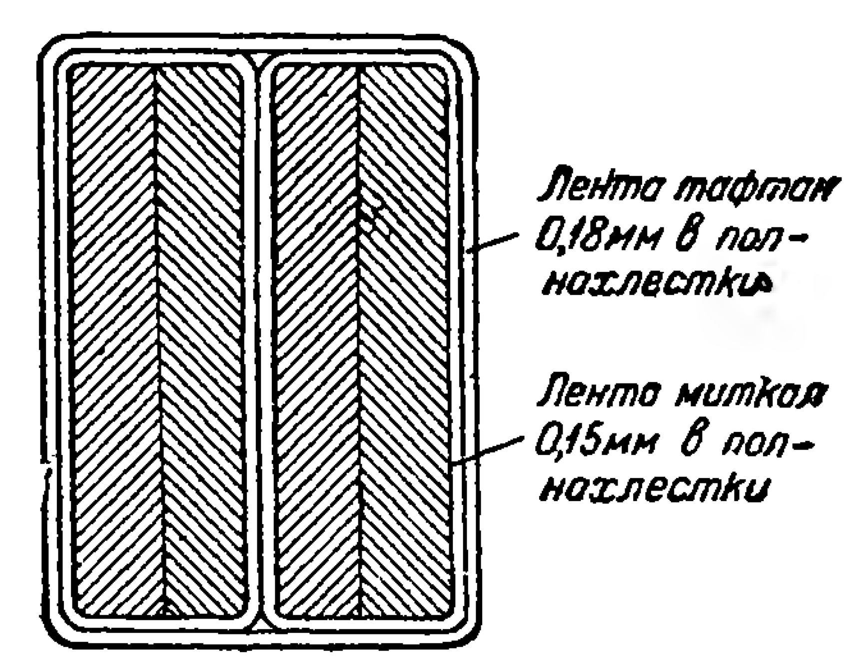


Рис. 175. Разрез лобовой части катушки с нормальной изоляцией.

Между отдельными слоями обмотки в лобовой части прокладываются полоски прессшпана, толщиной от 3 до 10 *мм* и больше, в зависимости от формы головки и расстояния между слоями обмотки.

На рис. 175 показан разрез катушки в лобовой части, а на рис. 176 видна прокладка между слоями обмотки в лобовой части.

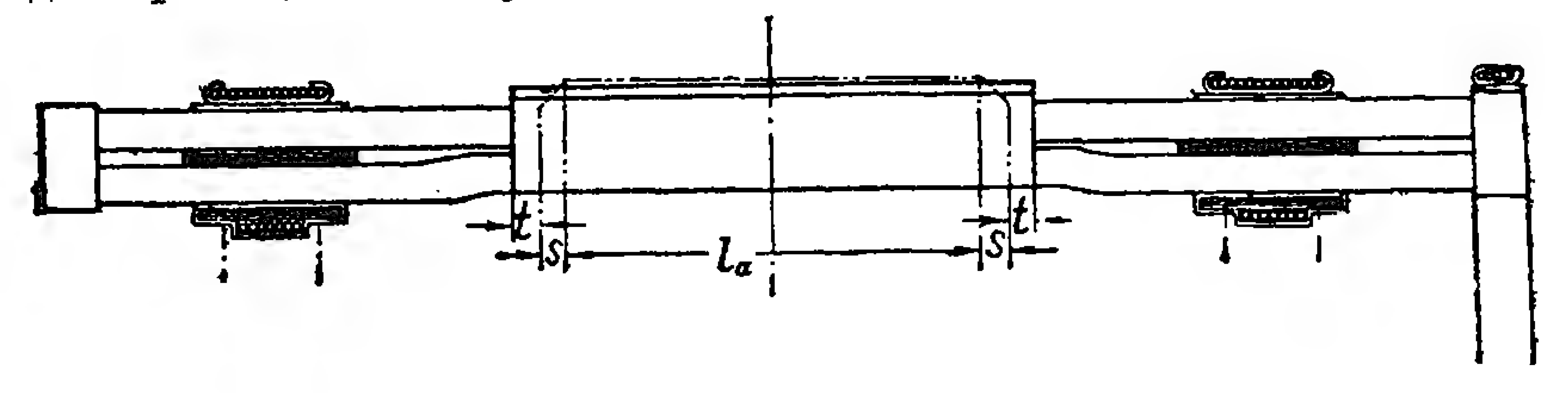


Рис. 176. Обмотка якоря.

Изоляция обмоткодержателей, на которые опираются лобовые части, будет описана ниже.

При р а с с ы п н о й обмотке изоляция ее производится способом, отличающимся от вышеописанного, так как секции обмотки вкладываются в паз неизолированными. В этом случае изоляция вкладывается в пазы якоря до укладки обмотки.

Благодаря тому, что при данной обмотке лобовые части ее соприкасаются с торцовыми частями тела якоря, последние изолируются

посредством фибровых или летероидных дисков. Диски эти обычно вырубаются тем же штампом, которым штампуется железо якоря.

Крепление дисков вместе с железом якоря на валу осуществляется посредством упорных железных шайб.

Якорь с установленными изолирующими дисками показан на рис. 177.

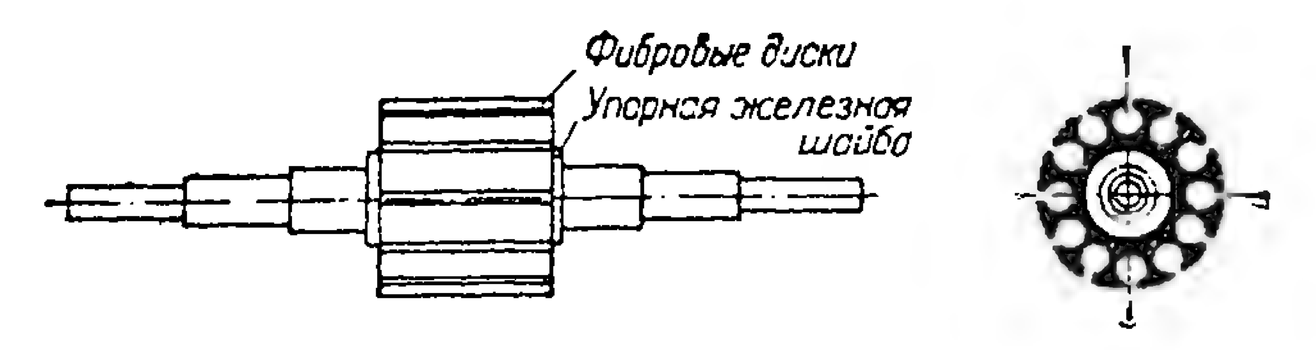


Рис. 177. Якорь с изолирующими дисками.

Изоляция паза обычно состоит для машин небольшого напряжения (12—24 V) из одного слоя прессшпана или летероида, толщиной 0,1—0,2 *мм*. При напряжении 110—220 V, кроме прессшпана, кладется один слой лакоткани.

Д. Противосыростная изоляция

Для машин, предназначенных для работы в сырых помещениях, применяется специальная так называемая противосыростная изоляция. Для того чтобы изоляция не могла впитывать в себя влагу из окружающей среды, входящие в ее состав материалы должны быть мало гигроскопичными. [1]

Для уменьшения гигроскопичности изолированные катушки покрываются специальными лаками, не пропускающими воду.

В разобранной выше нормальной изоляции наиболее гигроскопичным является прессшпан. Поэтому при противосыростной изоляции прессшпан должен быть заменен другими материалами.

Лучшие результаты достигаются при применении миканита, микафолия и тому подобных материалов, изготовленных из слюды, так как последняя почти совершенно негигроскопична. Ввиду относительно высокой стоимости этих материалов, их часто заменяют летероидом, также дающим хороший эффект. Полученная таким образом изоляция, хотя и является усиленной по сравнению с нормальной, все же не может быть названа противосыростной, если ее не покрыть водонепроницаемыми лаками, так как влага может проникнуть в зазоры между слоями изоляции.

Противосыростность хорошо достигается при применении компаундировки катушек, с применением вакуумного процесса. В результате компаундировки воздушные прослойки между слоями изоляции заполняются компаундной массой, и тем самым катушка предохраняется от проникновения влаги.

---

[1] Гигроскопичностью называется способность тела вбирать в себя влагу.

Е. Теплостойкая изоляция

В ответственных машинах, работающих в тяжелых условиях (например прокатные и судовые моторы и т. п.), к изоляции предъявляются требования повышенной надежности.

Такой надежностью обладает изоляция класса В, допускающая температуру перегрева 115°. Как известно, к изоляции класса В относятся материалы, в основном состоящие из неорганических веществ и содержащие вещества органического происхождения в небольших количествах, причем они служат либо защитным покровом для основной изоляции (например батист), либо связующим материалом (например шеллак, входящий в состав миканита, микаленты и т. п.).

На рис. 178 в качестве примера показаны сечения катушки в пазовой и лобовой части, имеющей теплостойкую изоляцию. Как видно из рисунка, проводники секций (стержни) изолированы по всей длине микалентой, покрытой слоем батистовой ленты, наложенной впритык. Батистовая лента предохраняет микаленту от повреждений, а также скрепляет ее витки между собой. Все секции одной катушки покрыты общей изоляцией также из микаленты, которая сверху предохранена слоем миткалевой ленты. Поверх последней накладывается один слой летероида — только в пазовой части.

Рис. 178. Теплостойкая изоляция: *а*) в пазу; *б*) в лобовой части.

Описанная изоляция одинакова по всей длине катушки как в лобовой, так и в пазовой части. Такого рода изоляция носит название н е п р е р ы в н о й. Она обладает большой надежностью, так как в ней отсутствует наиболее легко уязвимый стык между изоляцией пазовой и лобовой частей.

При напряжениях до 250 V в лобовой части можно общую изоляцию катушки делать из лакированной ткани вместо микаленты.

5. ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАЗМЕРОВ КАТУШЕК

А. Определение размеров поперечного сечения

Размеры поперечного сечения катушки могут быть получены как сумма соответствующих размеров меди и изоляции. Кроме того, должно быть учтено разбухание в лобовой части катушки при пропитке. Разбухания в пазовой части

не происходит, так как при нормальной изоляции микафолием пазовая часть опрессовывается.

Величина разбухания может быть принята, на основании опытных данных, равной по ширине $0,05x + 0,2$ *мм*, по высоте $0,05y$, где x равно числу проводников по ширине катушки, а y — числу проводников по высоте катушки.

Б. Определение расстояния между сторонами катушки

Это расстояние равно длине дуги между двумя пазами якоря, в которых должны лежать стороны катушки.

Длина этой дуги может быть определена из формулы:

$$l = \frac{2\pi R \cdot y_Z}{Z}, \tag{50}$$

где R — радиус дуги;

Z — число пазов якоря;

y_Z — зубцовый шаг, т. е. число зубцов якоря, заключенных между двумя сторонами одной катушки; этот шаг указывается в схеме обмотки.

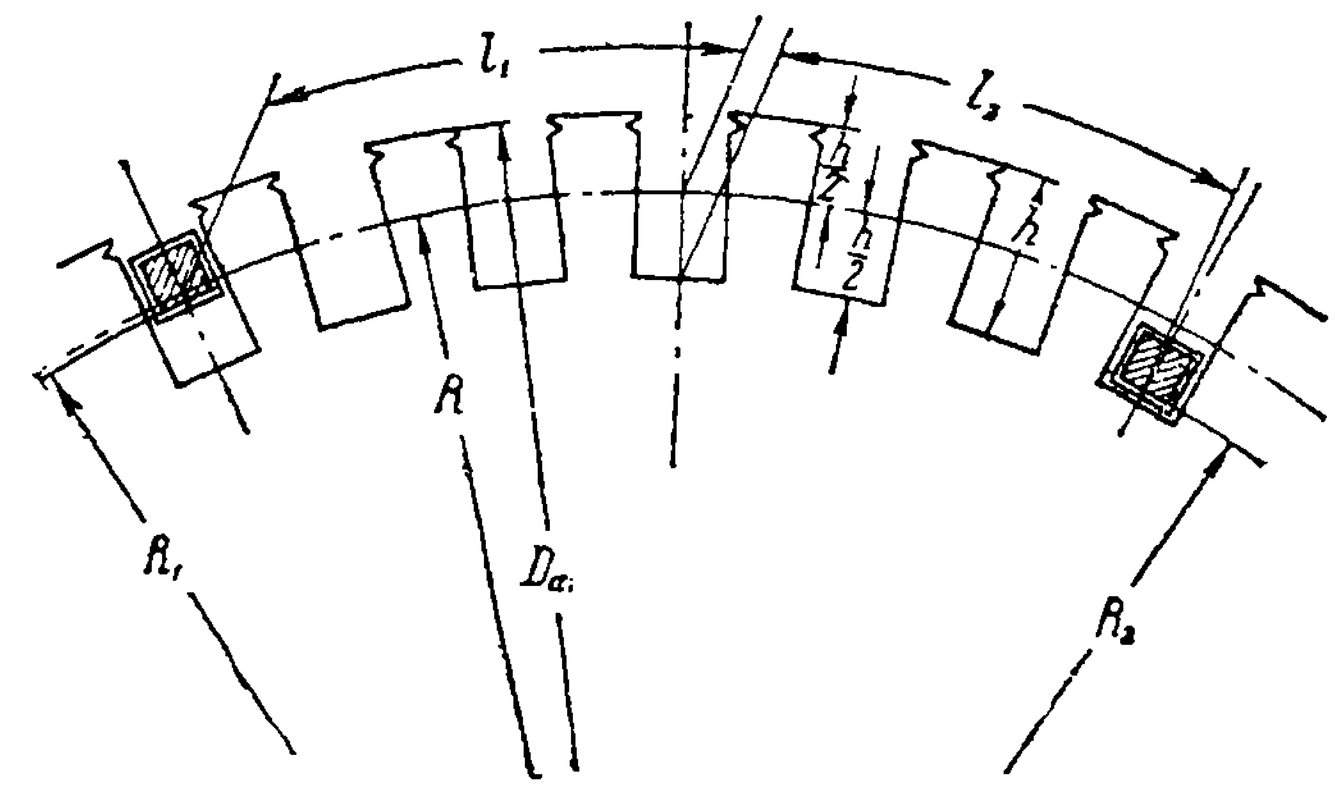


Рис. 179. Определение расстояния между сторонами катушки.

При приближенных подсчетах радиус R может быть взят как средний радиус катушки, т. е. радиус окружности, на которой лежит середина пазов рис. 179):

$$R = \frac{D_a - h}{2}, \tag{51}$$

где R — средний радиус катушки;

h — глубина паза;

D_a — наружный диаметр якоря.

В действительности, однако, одна сторона катушки лежит в верхней, а другая в нижней части паза. Поэтому полная ширина катушки l равна сумме двух дуг l_1 и l_2, причем эти дуги лежат на окружностях разных радиусов, как показано на рис. 179.

Зная размеры диаметра якоря, размеры паза, сечение проводников и их изоляцию, нетрудно определить величины R_1 и R_2.

Тогда дуги l_1 и l_2 могут быть найдены таким образом:

$$l_1 = \frac{2\pi R_1 \cdot y_Z}{2Z}; \tag{52}$$

$$l_2 = \frac{2\pi R_2 \cdot y_Z}{2Z}. \tag{53}$$

Полная ширина катушки:

$$l = l_1 + l_2. \tag{54}$$

В. Определение длины пазовой (прямой) части катушки

Длина прямой части катушки должна быть всегда больше длины паза (ширины якоря), что видно из рис. 176, где l_a — ширина якоря, s — высота нажимных пальцев, t — длина, на которую выступает пазовая часть катушки за нажимные пальцы. Удлинение пазовой части катушки на величину t необходимо делать для того, чтобы удалить от железа якоря лобовую часть, изоляция которой слабее изоляции пазовой части.

Величина t для машин, напряжением до 500 V, берется обыкновенно равной 7—10 *мм*. Таким образом, зная ширину якоря, высоту нажимных пальцев и задаваясь величиной t, можно определить длину прямой части катушки.

Г. Определение размеров лобовой части катушки

Чтобы закончить определение размеров катушки, определим размеры ее лобовой части.

На рис. 180 показаны основные размеры, которые требуется определить:

α — угол наклона лобовой части;

r_1 — радиус закругления при переходе от прямой к лобовой части катушки;

r_2 — радиус закругления при переходе к головке;

f — так называемый «вылет» лобовой части обмотки.

Величина угла α зависит от зубцового шага обмотки и расстояния между лобовыми частями двух рядом расположенных катушек, причем чем меньше угол α, тем меньше и вылет f.

Из треугольника ABC (см. рис. 180, *б*) имеем:

$$\sin\alpha = \frac{BC}{AC},$$

где

$$BC = d + s;$$

$$AC = \frac{2\pi R}{Z} \text{ — длина зубцового деления.}$$

Здесь: d — расстояние между лобовыми частями двух соседних катушек;

s — ширина катушки в лобовой части;

R — радиус окружности, на которой расположена лобовая часть;

Z — число зубцов якоря.

Таким образом $\sin\alpha = \dfrac{(d+s)\cdot Z}{2\pi R}$.

Для уменьшения вылета лобовой части обмотки стремятся величину угла α по возможности уменьшить. Так как величины R, Z и s являются заданными, то для уменьшения α нужно уменьшить величину зазора d. Однако для того, чтобы возможно было уложить обмотку, зазор d нельзя брать меньше 0,4—0,7 *мм*.

Таким образом, задаваясь величиной d, определяют $\sin\alpha$ и самый угол α (по таблицам тригонометрических величин).

Величинами радиусов закруглений r_1 и r_2 задаются, причем их обыкновенно берут равными от 5 до 15 *мм* в зависимости от ширины катушки. Чем больше ширина стороны катушки, тем она более жестка и тем бо́льшими должны быть взяты радиусы закругления r_1 и r_2.

Вылет лобовой части:

$$f = a + b + c + d.$$

Величина a определяется из треугольника AEF:

$$a = AE = AF\cos\alpha = \left(r_1 + \frac{s}{2}\right)\cos\alpha.$$

Аналогично из треугольника BDK определяется величина c:

$$c = BK = \left(r_2 + \frac{s}{2}\right)\cos\alpha.$$

Величина b определяется из треугольника ABC:

$$b = \overline{BC} = \overline{AC} \cdot \operatorname{tg} \alpha = k \cdot \operatorname{tg} \alpha, \tag{55}$$

где

$$k = l_1 - m_1 - m_2, \tag{56}$$

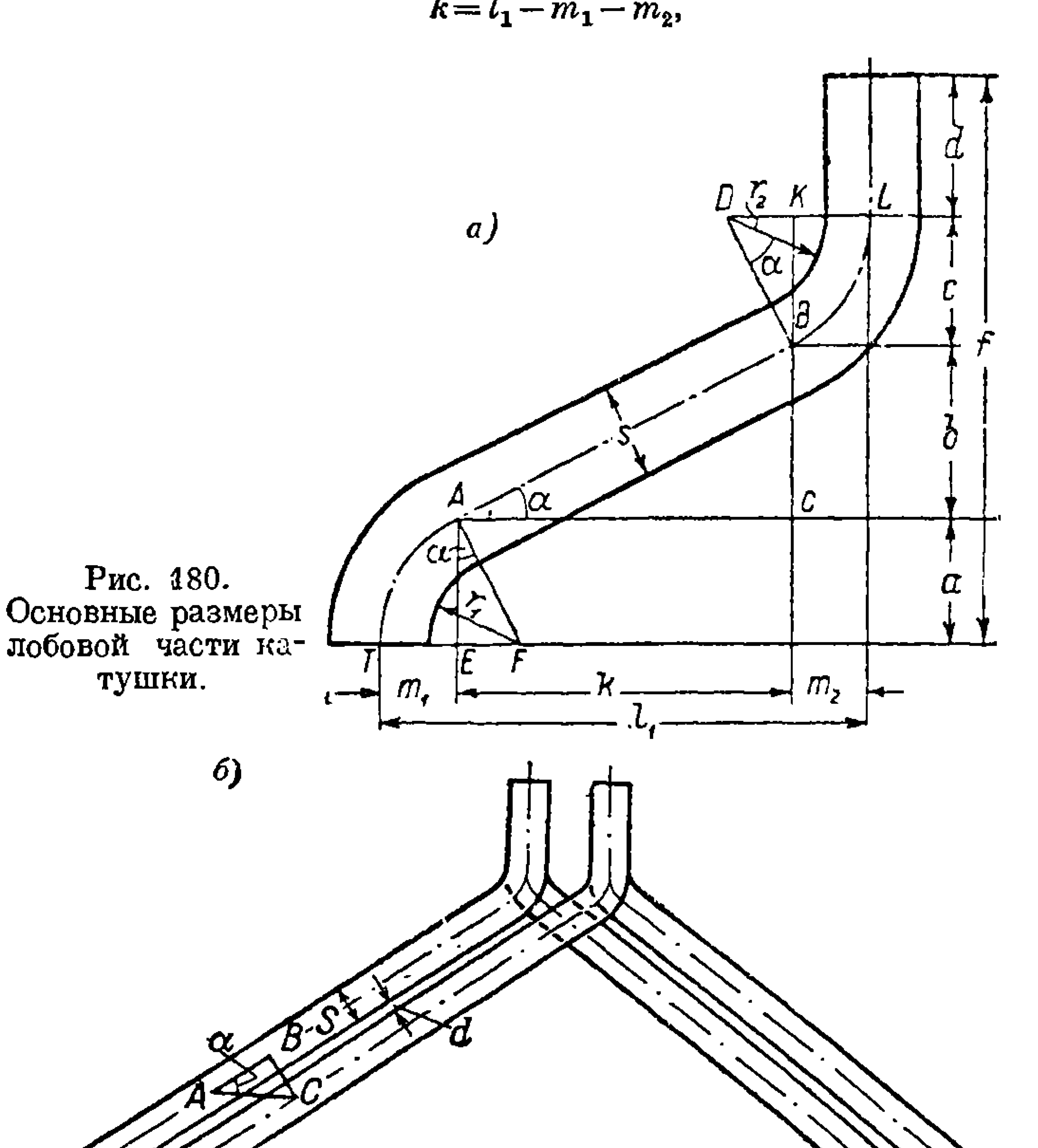


Рис. 180. Основные размеры лобовой части катушки.

а

$$m_1 = \overline{TE} = \overline{TF} - EF = \left(r_1 + \frac{s}{2}\right) - \left(r_1 + \frac{s}{2}\right) \sin \alpha = \left(r_1 + \frac{s}{2}\right)(1 - \sin \alpha),$$

$$m_2 = \overline{KL} = \overline{DL} - DK = \left(r_2 + \frac{s}{2}\right) - \left(r_2 + \frac{s}{2}\right) \sin \alpha = \left(r_2 + \frac{s}{2}\right)(1 - \sin \alpha).$$

Подставляя значение m_1 и m_2 в ф-лу (56), получим;

$$k = l_1 - \left(r_1 + \frac{s}{2}\right)(1 - \sin \alpha) - \left(r_2 + \frac{s}{2}\right)(1 - \sin \alpha) =$$

$$= l_1 - (1 - \sin \alpha)(r_1 + r_2 + s).$$

Подставляя значение k в ф-лу (55), получим:

$$b = [l_1 - (1 - \sin\alpha)(r_1 + r_2 + s)]\,\mathrm{tg}\,\alpha. \qquad (57)$$

Величина d берется равной высоте катушки в пазовой части $+ (3 \div 5)$ *мм*.

Складывая найденные по вышеприведенным формулам величины a, b, c и d, найдем вылет лобовой части обмотки f.

6. УРАВНИТЕЛЬНЫЕ СОЕДИНЕНИЯ

Уравнительные соединения конструктивно выполняются либо в виде колец, либо в виде вилок. На рис. 31 и 32 были показаны типы уравнительных соединений.

При уравнительных соединениях в виде колец к последним припаиваются пластины, соединяющиеся с соответствующими секциями

При вилкообразных уравнительных соединениях концы вилок впаиваются в хомутики соответствующих секций. При отсутствии хомутиков в головках секций (катушечная обмотка) в соответственных головках зачищается изоляция, припаиваются уравнительные соединения и место спайки вновь изолируется.

7. КРЕПЛЕНИЕ ОБМОТКИ

При вращении электрической машины вращающиеся ее части под влиянием центробежной силы стараются оторваться по направлению от центра машины.

Уложенная в пазах якоря обмотка также подвержена центробежной силе. Поэтому после укладки ее нужно закрепить как в пазах, так и в лобовых частях.

Способ крепления обмотки в пазах зависит от формы паза.

В настоящее время наибольшее применение имеют открытые пазы, хотя в некоторых случаях применяются и пазы полузакрытые.

Крепление обмотки в открытых пазах производится посредством клина или бандажа из стальной или бронзовой проволоки.

Крепление бандажом пазовой части обмотки применяется, главным образом, в малых машинах.

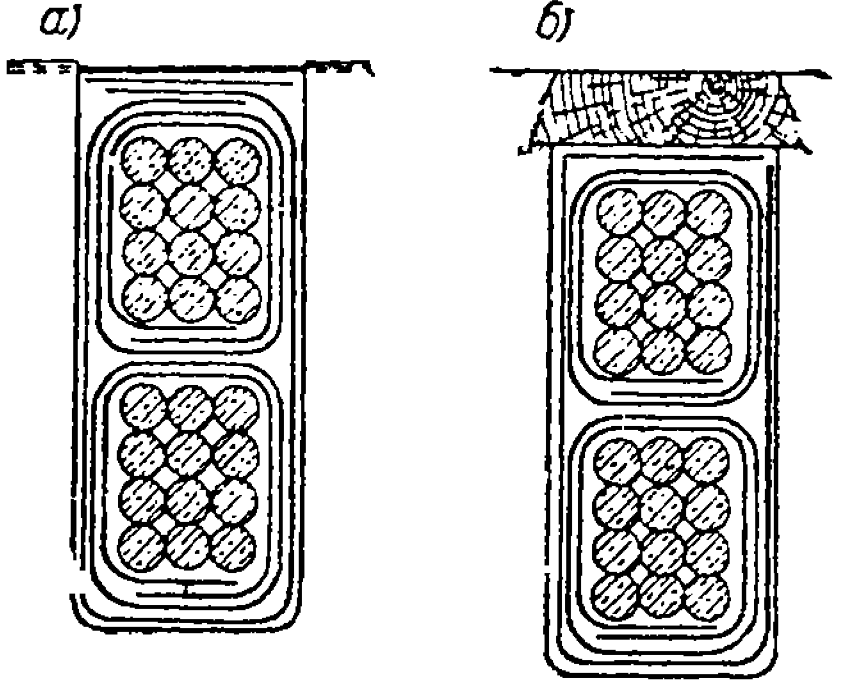


Рис. 181. Формы паза для крепления обмотки посредством: *а*) бандажа и *б*) клина.

Для того чтобы бандаж не выступал за пределы наружного диаметра якоря, листы железа якоря, находящиеся под бандажом, делаются несколько меньшего диаметра.

В полузакрытых пазах обмотка закрепляется исключительно посредством клина.

На рис. 181, *а* показана форма паза для крепления обмотки посредством бандажа, а на рис. 181, *б* — посредством клина.

Как видно из рис. 181, *б*, стенки паза в его вершине имеют выемки, в которые заколачивается клин, имеющий соответствующую форму поперечного сечения.

В настоящее время клинья изготовляются преимущественно из твердых пород дерева, например бука, клена, ясеня.

Применяемые иногда клинья из изоляционных материалов, например фибры и гетинакса, не получили большого распространения: первые — вследствие своей гигроскопичности, а вторые — недостаточной механической прочности. Кроме того, такие клинья дороже деревянных. Клинья, изготовленные из дерева, должны хорошо просушиваться и провариваться в льняном масле. Благодаря этому клинья после забивки в пазы не подвергаются дальнейшему высыханию, что могло бы повести к авариям. Проваривание в масле делает клинья негигроскопичными.

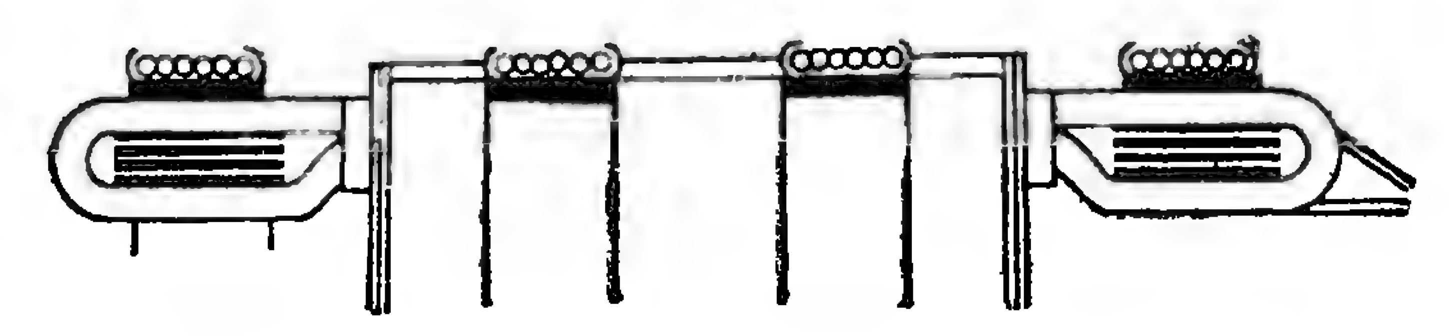


Рис. 182. Бандажи обмотки якоря.

В тех случая, когда вместо клиньев употребляется бандаж, последний располагается, как указано выше, в выемках, образованных из листов меньшего диаметра, в нескольких местах по длине железа якоря. Бандаж состоит из витков стальной или бронзовой проволоки, наматываемой непосредственно на железо якоря.

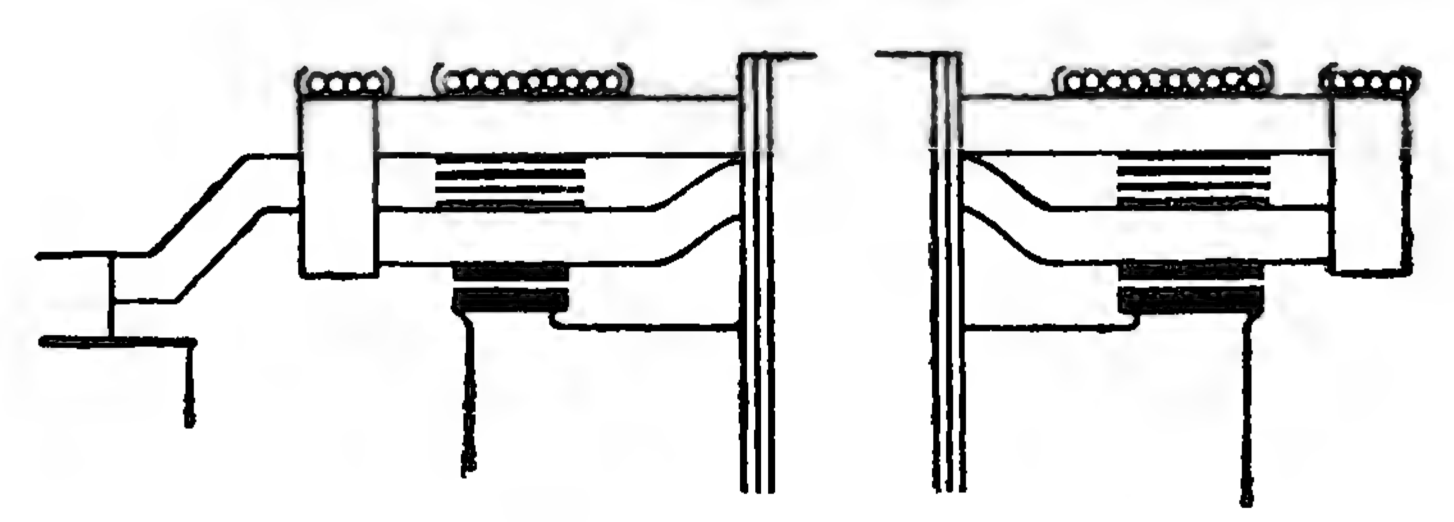


Рис. 183. Добавочные бандажи на хомутиках.

Крепление лобовых частей обмотки также осуществляется проволочными бандажами, плотно притягивающими лобовые части к обмоткодержателям. Под бандажи подкладывается прокладка из миканита и прессшпана, общей толщиной 0,5—1 *мм* и шириной на 10—15 *мм* больше ширины бандажа.

На рис. 182 показано крепление обмотки бандажами.

При больших окружных скоростях бывает необходимо укрепить лобовые части обмотки небольшими добавочными бандажами, накладываемыми на хомутики. Такое крепление показано на рис. 183.

8. РАСЧЕТ БАНДАЖЕЙ

Бандаж является весьма ответственной деталью крепления обмотки якоря, поэтому всегда необходимо произвести тщательный расчет его на механическую прочность.

Ни в коем случае не рекомендуется брать число витков проволоки «на глазок», так как лопнувший от излишних допущенных напряжений бандаж может служить причиной аварии машины.

При расчете бандажа как лобовой, так и пазовой части обмотки его следует рассматривать как свободно-вращающееся кольцо, нагруженное равномерно по всей окружности центробежными силами.

Общий ход расчета состоит в следующем.

Определяется вес той части обмотки (пазовой или лобовой), которую должен удержать бандаж. В весе обмотки должен быть учтен и вес всей изоляции. Если имеются уравнительные соединения, расположенные непосредственно под лобовыми частями обмотки, то следует также учесть и их вес. Затем выбирается диаметр проволоки. Обыкновенно для бандажей употребляется специальная бандажная стальная или бронзовая проволока, диаметром 0,5—1,5 *мм*. Чем больше диаметр якоря, тем большего диаметра берется проволока.

После того как выбран диаметр и материал проволоки, определяется напряжение от собственной центробежной силы бандажа по формуле:

$$\sigma_1 = k \cdot D_1^2 \left(\frac{n_1}{1000}\right)^2 \text{ кг/см}^2, \tag{58}$$

где σ_1 — напряжение от центробежной силы самого бандажа в *кг/см²*;

D_1 — диаметр бандажа в сантиметрах.

Нормально по ОСТ разгонное число оборотов машины на 20% больше номинального числа оборотов, т. е.:

$$n_1 = 1{,}2\, n_{номин}$$

Коэфициент k для стальной проволоки равен 0,022; для бронзовой — 0,024.

Получив напряжение от собственной центробежной силы бандажа, определяют число витков по формуле:

$$w = 1{,}13 \frac{G \cdot D_2}{d^2 (R \; - \sigma_1)} \left(\frac{n_1}{1000}\right)^2, \tag{59}$$

где G — вес обмотки с изоляцией в килограммах;

D_2 — средний диаметр обмотки в сантиметрах;

d — диаметр проволоки бандажа в сантиметрах;

R_Z — допускаемое напряжение растяжения в бандаже в *кг/см²*.

Для стальной проволоки

$$R_Z = 3000 \div 3500 \text{ кг/см}^2.$$

Для бронзовой проволоки

$$R_Z = 1800 \div 2000 \text{ кг/см}^2.$$

Последние цифры допустимы при наличии испытанной проволоки.

Обыкновенно при больших окружных скоростях машины[1] число витков получается очень большим, поэтому бывает затруднительно уложить все витки на данный участок обмотки, для которой подсчитано число витков.

---

[1] Окружная скорость машины вычисляется по формуле:

$$v = \frac{\pi \cdot D_a \cdot n_1}{60},$$

где v — окружная скорость в *м/сек*;

D_a — наружный диаметр якоря в метрах;

n_1 — разгонное число оборотов в минуту.

В этом случае витки обычно укладывают в два-три ряда, при том условии, если наибольший диаметр по бандажу не выходит за пределы диаметра якоря, так как в противном случае якорь нельзя будет завести в магнитную систему машины.

Если представляется затруднительным уложить расчетное число витков на обмотку, следует взять больший диаметр проволоки, что дает возможность уменьшить число витков. Для этого весь расчет необходимо повторить сначала.

Ф-лы (58) и (59) получаются на основании следующих рассуждений.

Общее выражение для определения центробежной силы:

$$C = \frac{G}{g}\omega^2 R, \tag{60}$$

где G — вес (в данном случае) одного витка проволоки:

$$G = \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot \pi \cdot D_1\gamma = \frac{\pi^2 \cdot d^2 \cdot D_1}{4}\gamma;$$

здесь: d — диаметр проволоки в сантиметрах;
D_1 — диаметр витка проволоки в сантиметрах;
γ — удельный вес материала проволоки в *кг/см*^{3};
ω — угловая скорость якоря:

$$\omega = \frac{\pi \cdot n_1}{30}\ 1/\text{сек};$$

g — ускорение силы тяжести;
R — радиус бандажа в сантиметрах.

Подставляя в выражение (60) и заменяя $R = \frac{D_1}{2}$, имеем:

$$C = \frac{\pi^2 \cdot d^2 \cdot D_1\gamma}{4 \cdot g} \cdot \frac{\pi^2 \cdot n_1^2}{30^2} \cdot \frac{D_1}{2} = \frac{\pi^4 \cdot d^2 \cdot D_1^2 \cdot \gamma \cdot n_1^2}{8 \cdot g \cdot 30^2};$$

Напряжение, которое испытывает проволока от собственного веса при вращении, определяется по формуле:

$$\sigma_1 = \frac{2C}{\pi \cdot d^2}\ [\text{кг/см}^2].$$

Подставляя в последнюю формулу найденное выражение для C и беря $g = 981$ *см/сек*^{2} (так как D_1 взято в сантиметрах) и $\gamma = 0{,}00785$ *кг/см*^{3}, получим:

$$\sigma_1 = \frac{\pi^4 \cdot d^2 \cdot D_1^2 \cdot 7{,}85 \cdot 10^{-3} \cdot n_1^2 \cdot 2}{8 \cdot 981 \cdot 900 \cdot \pi^2 \cdot d^2} \cdot \frac{1000^2}{1000^2} = 0{,}022 \cdot D_1^2 \left(\frac{n_1}{1000}\right)^2.$$

Для бронзовой проволоки коэфициент k увеличивается пропорционально увеличению удельного веса, т. е.:

$$k = 0{,}022\frac{\gamma_{бр}}{\gamma_{ст}} = 0{,}022\frac{8{,}55}{7{,}85} = 0{,}024.$$

Центробежная сила обмотки также определяется по ф-ле (60), т. е.:

$$C = \frac{G}{g}\omega^2 R,$$

где G — вес той части обмотки вместе с изоляцией, которую должен удерживать бандаж, в сантиметрах;

R — средний радиус обмотки в сантиметрах.

Напряжение в бандаже от центробежной силы обмотки определяется по формуле:

$$\sigma_2 = \frac{2 \cdot C}{\pi^2 \cdot d^2 \cdot w} = \frac{2 \cdot G \cdot \pi^2 \cdot n_1^2 \cdot D_2}{981 \cdot 30^2 \cdot 2 \cdot \pi^2 \cdot d^2 \cdot w} \cdot \frac{1000^2}{1000^2} = 1{,}13\frac{G \cdot D_2}{d^2 \cdot w}\left(\frac{n_1}{1000}\right)^2, \tag{61}$$

где w — число витков бандажа;

d — диаметр проволоки бандажа в сантиметрах.

Общее напряжение в бандаже складывается из напряжения от центробежной силы самого бандажа и центробежной силы обмотки, удерживаемой бандажом, т. е.

$$\sigma = \sigma_1 + \sigma_2.$$

Суммарное напряжение σ не должно превышать допускаемого напряжения на растяжения R_Z, т. е.

$$\sigma_1 + \sigma_2 \leqslant R_Z,$$

откуда

$$\sigma_2 \leqslant R_Z - \sigma_1.$$

Преобразуя ф-лу (61) таким образом, чтобы искомым являлось число витков, получим:

$$w = 1{,}13 \frac{G \cdot D_2}{d^2 \cdot \sigma_2} \cdot \left(\frac{n_1}{1000}\right)^2$$

и, подставив значение σ_2, получим указанную выше ф-лу (59), т. е.

$$w = 1{,}13 \frac{G \cdot D_2}{d^2 (R_Z - \sigma_1)} \cdot \left(\frac{n_1}{1000}\right)^2. \qquad (62)$$

9. ПРИМЕР ОПРЕДЕЛЕНИЯ РАЗМЕРОВ КАТУШКИ И РАСЧЕТА КРЕПЛЕНИЯ ОБМОТКИ

Пусть дана обмотка якоря со следующими данными (см. рис. 184):

Число оборотов	$n = 1500$	*об/мин*
Наружный диаметр якоря	$D_a = 230$	*мм*
Длина железа якоря	$l_a = 150$	»
Число пазов якоря	$Z = 41$	
Число коллекторных пластин . .	$K = 123$	
Число секций	123	
Число витков в секции	1	
Число проводников в пазу . . .	6	
Размер проводников	$1{,}56 \times 10$	*мм*
Зубцовый шаг	$y_Z = 10$	
Шаг по коллектору	$y_к = 61$	
Размер паза	8×25 *мм.*	

Обмотка катушечная — волновая из неизолированных проводников.

Крепление обмотки в пазу производится при помощи бандажей (без клина)

Размеры пазовой части катушки по ширине:

Так как число пазов $Z = 41$, а полное число секций — 123, то число секций в катушке равно $123 : 41 = 3$.

Определим размеры поперечного сечения стороны катушки в пазовой части (рис. 184).

Ширина меди	$3 \cdot 1{,}56 = 4{,}68$	*мм*
Толщина изоляции проводников (лента миткалевая, толщиною 0,15 *мм*, в полнахлестки)	$3 \cdot 2 \cdot 2 \cdot 0{,}15 = 1{,}8$	»
Толщина общей микафолиевой изоляции (микафолий, толщиной 0,15 *мм*, 2 слоя, перекрой сверху) . . .	$2 \cdot 2 \cdot 0{,}15 = 0{,}6$	»
Толщина общей летероидной изоляции (летероид 1 слой, толщиной 0,1 *мм*, перекрой сверху)	$1 \cdot 2 \cdot 0{,}1 = 0{,}2$	»
Полная ширина	7,28	»

Размеры пазовой части по высоте:

Высота меди	1 · 10 = 10	*мм*
Толщина изоляции проводника	1 · 2 · 2 · 0,15 = 0,6	„
Толщина общей микафолиевой изоляции	1 · 5 · 0,15 = 0,75	„
Толщина общей летероидной изоляции	1 · 3 · 0,1 = 0,3	„
Полная высота	11,65	„

Толщина защитной летероидной гильзы в пазу 0,2 *мм*, причем перекрой гильзы делаем сверху.

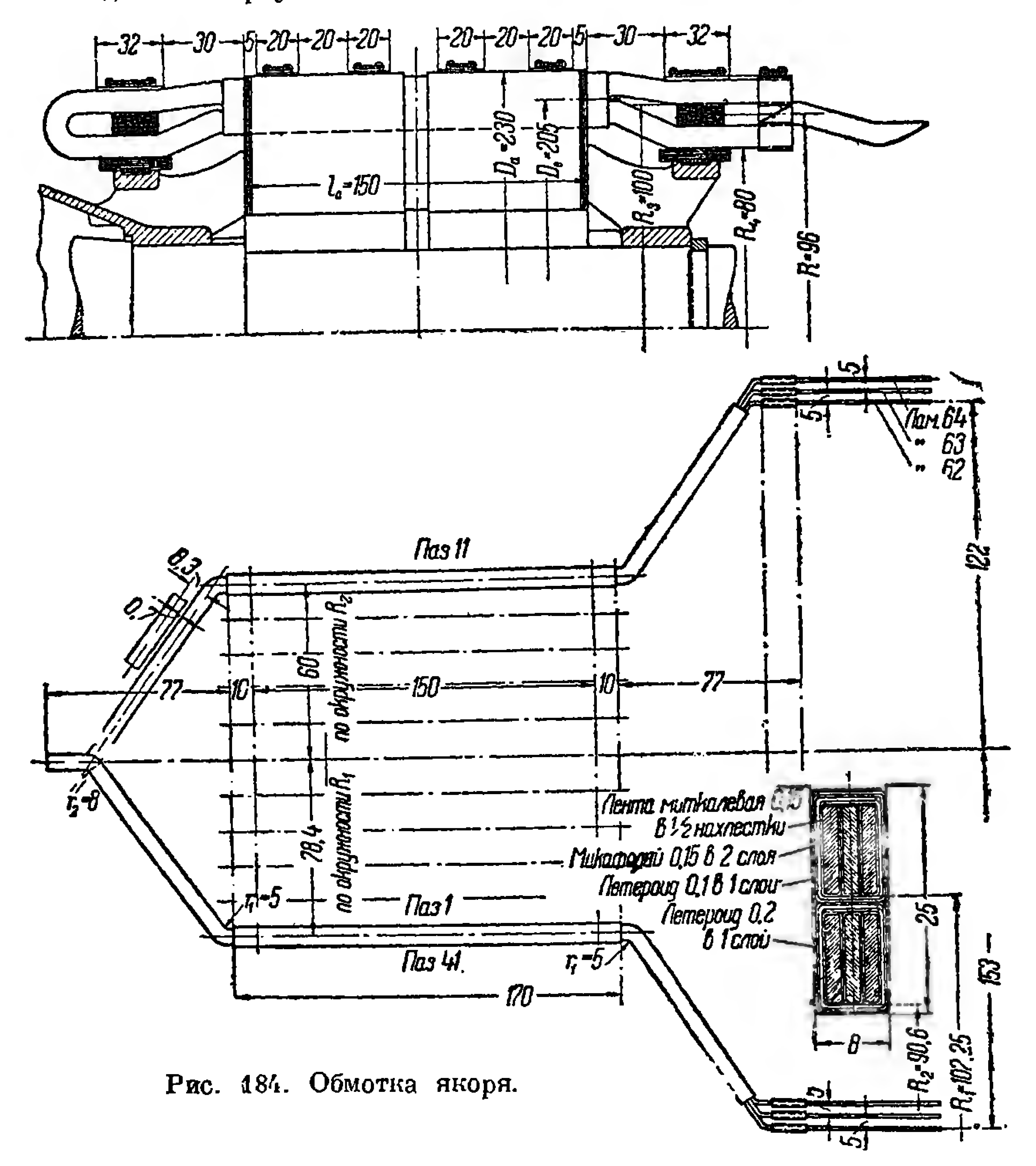


Рис. 184. Обмотка якоря.

Таким образом размеры сечения обмотки в пазу вместе с летероидной гильзой будут:

По ширине	7,28 + (2 · 0,2) = 7,68 *мм*	≈ 7,7 *мм*
„ высоте	(2 · 11,65) + (3 · 0,2) = 23,9 „	≈ 24 „

Как мы видим, обмотка укладывается в паз, размеры которого 8×25 *мм*, причем сверху обмотки нужно проложить полоску летероида или прессшпана, толщиной 1 *мм*.

Размеры катушки в лобовой части по ширине:

Ширина меди	$3 \cdot 1{,}56 = 4{,}68$ *мм*
Толщина изоляции проводников	$3 \cdot 2 \cdot 2 \cdot 0{,}15 = 1{,}8$ „
Толщина общей изоляции (тафтяная лента, толщиной 0,18 *мм*, 1 слой в полнахлестки)	$2 \cdot 2 \cdot 0{,}18 = 0{,}72$ „
Разбухание от пропитки	$0{,}05 \cdot 3 \cdot 0{,}2 = 0{,}35$ „
Общая ширина	$7{,}55$ *мм* $\approx 7{,}6$ „

Размеры катушки в лобовой части по высоте:

Высота меди	$1 \cdot 10 = 10$ *мм*
Толщина изоляции проводников	$1 \cdot 2 \cdot 2 \cdot 0{,}15 = 0{,}6$ „
Толщина общей изоляции	$2 \cdot 2 \cdot 0{,}18 = 0{,}72$ „
Разбухание от пропитки	$0{,}05 \cdot 1 = 0{,}05$ „
Общая высота	$11{,}37$ *мм* $\approx 11{,}4$ „

Таким образом размеры сечения в лобовой части — $7{,}6 \times 11{,}4$ *мм*.

Определение длины прямой части катушки.

Так как в данном случае мы имеем якорь небольших размеров, то нажимные пальцы отсутствуют. Поэтому, удлиняя прямую часть катушки на 10 *мм* в каждую сторону против длины паза (ширины якоря), получим длину прямой части:

$$l_a + (2 \times 10) = 150 + 20 = 170 \text{ мм}.$$

Найдем теперь расстояние между сторонами катушки по ф-лам (54)—(51):

$$l = l_1 + l_2;$$

$$l_1 = \frac{2\pi \cdot R_1 \cdot y_Z}{2 \cdot Z};$$

$$R_1 = \frac{230}{2} - 25 + 0{,}2 + 11{,}65 + 0{,}1 + 0{,}3 = 102{,}25 \text{ мм};$$

$$l_1 = \frac{2\pi \cdot 102{,}25 \cdot 10}{2 \cdot 41} = 78{,}4 \text{ мм};$$

$$l_2 = \frac{2\pi \cdot R_2 \cdot y_Z}{2 \cdot Z} \text{ мм};$$

$$R_2 = \frac{230}{2} - 25 + 0{,}2 + 0{,}1 + 0{,}3 = 90{,}6 \text{ мм};$$

$$l_2 = \frac{2\pi \cdot 90{,}6 \cdot 10}{2 \cdot 41} = 60 \text{ мм};$$

$$l = 78{,}4 + 60 = 138{,}4 \text{ мм}.$$

Определение размеров лобовой части со стороны, противоположной коллектору.

Найдем угол наклона лобовой части α:

$$\sin\alpha = \frac{(d + s) \cdot Z}{2\pi R}.$$

Величину d принимаем равной 0,7 *мм*.

Радиус R можно принять равным среднему радиусу катушки, т. е. радиусу окружности, проходящей через середины пазов:

$$R = \frac{D_a - h}{2} = \frac{230 - 25}{2} = 102{,}5 \text{ мм}.$$

Ширина сечения в лобовой части нами определена:

$$s = 7{,}6 \text{ мм}.$$

Подставляя эти величины, найдем:

$$\sin\alpha = \frac{(0{,}7 + 7{,}6) \cdot 41}{2 \cdot \pi \cdot 102{,}5} = 0{,}528.$$

По таблицам находим угол $\alpha = 31°54' \approx 32°$:

$$\cos\ \alpha = 0{,}848.$$

Радиусы закругления в лобовой части принимаем:

$$r_1 = 5\ мм;$$

$$r_2 = 8\ мм.$$

Найдем теперь отдельные величины, из которых складывается вылет лобовой части (см. рис. 180).

$$a = \left(r_1 + \frac{s}{2}\right)\cos\alpha = \left(5 + \frac{7{,}6}{2}\right) \cdot 0{,}848 = 7{,}46\ мм;$$

$$c = \left(r_2 + \frac{s}{2}\right)\cos\alpha = \left(8 + \frac{7{,}6}{2}\right) \cdot 0{,}848 = 10\ мм:$$

$$b = [l_1 - (1 - \sin\alpha) \cdot (r_1 + r_2 + s)] \cdot \operatorname{tg}\alpha =$$

$$= [78{,}4 - (1 - 0{,}528) \cdot (5 + 8 + 7{,}6)] \cdot 0{,}623 = 42{,}8\ мм;$$

$$d = 11{,}4 + 5\ мм = 16{,}4\ мм.$$

Вылет лобовой части:

$$f = 7{,}46 + 10 + 42{,}8 + 16{,}4 = 76{,}66 \approx 77\ мм.$$

Размеры лобовой части со стороны коллектора.

Вылет лобовой части здесь можно принять равным вылету с противоположиой стороны:

$$f = 77\ мм.$$

Размеры $l_3 + l_4$ определяются как длина дуги, заключенной между двумя коллекторными пластинами, которыми присоединяются концы секций, причем дуга l_3 берется по окружности $R_3 = 100\ мм$, а дуга l_4 по окружности радиуса $R_4 = 80\ мм$:

$$l_3 = \frac{2\pi\ \ R_3 \cdot y_к}{2 \cdot K} = \frac{2\pi \cdot 100 \cdot 61}{2 \cdot 123} = 153\ мм;$$

$$l_4 = \frac{2\pi\ \ R_4 \cdot y_к}{2\ \ K} = \frac{2\pi \cdot 80 \cdot 61}{2 \cdot 123} = 122\ мм;$$

$$l_3 + l_4 = 153 + 122 = 275\ мм.$$

Расстояние между концами секций h есть длина дуги, заключенной между двумя коллекторными пластинами. Эта дуга может быть с достаточной точностью взята на окружности, проходящей посередине высоты лобовой части обмотки:

$$h = \frac{2\pi R}{K} = \frac{2\pi \cdot 96}{123} \approx 5\ мм.$$

10. ПРИМЕР РАСЧЕТА БАНДАЖА ДЛЯ ПАЗОВОЙ ЧАСТИ ОБМОТКИ

Как показано на рис. 184, пазовая часть обмотки укреплена четырьмя равномерно расположенными по длине бандажами.

Вес обмотки в данном случае следует брать на длине, превышающей длину пазовой части, так как благодаря тому что крайние бандажи уложены побли-

зости от лобовых частей, они берут на себя частично и нагрузку от центробежной силы лобовой части.

В данном примере можно считать общую длину обмотки, которую можно отнести к бандажам пазовой части, равной длине прямой части, заключенной в гильзу, т. е. 170 *мм*.

Вес обмотки прямой части с изоляцией $G = 7{,}2$ *кг*.

Средний диаметр обмотки (указан на рис. 184):

$$D_2 = 20{,}5 \text{ см}.$$

Средний диаметр бандажа берем с округлением

$$D_1 = 230 \text{ мм}.$$

Номинальное число оборотов машины

$$n = 1500 \text{ об/мин}.$$

Разгонное число оборотов

$$n_1 = 1{,}2 \cdot n = 1{,}2 \cdot 1500 = 1800 \text{ об/мин}.$$

Вычисляем напряжение в бандаже от центробежной силы самого бандажа по ф-ле (58).

Проволоку берем стальную, диаметром $d = 0{,}5$ *мм* $= 0{,}05$ *см*.

Допустимое напряжение на растяжение $R_Z = 3000$ *кг/см*².

$$\sigma_1 = k \cdot D_1^2 \left(\frac{n_1}{1000}\right)^2 = 0{,}022 \cdot 23^2 \left(\frac{1800}{1000}\right)^2 = 37{,}7 \approx 38 \text{ кг/см}^2.$$

Дальше определяем необходимое число витков по ф-ле (59):

$$w = 1{,}13 \frac{G \cdot D_2}{d^2 (R_Z - \sigma_1)} \left(\frac{n_1}{1000}\right)^2 =$$

$$= 1{,}13 \frac{7{,}2 \cdot 20{,}5}{0{,}05^2 \cdot (3000 - 38)} \left(\frac{1800}{1000}\right)^2 = 72 \text{ витка}.$$

Распределяем их на 4 бандажа по 18 витков в каждом бандаже.

В данном примере, благодаря тому что диаметр проволоки очень мал и число витков небольшое, все витки свободно помещаются на железе якоря в четырех бандажах в один ряд.

В этом случае не было необходимости в месте расположения бандажей делать уменьшенный диаметр железа, так как бандаж очень незначительно выступает за внешний диаметр якоря.

При наличии достаточного зазора между полюсами и якорем такое наложение бандажей на железо якоря вполне допустимо.

11. ПРИМЕР РАСЧЕТА БАНДАЖА ДЛЯ ЛОБОВОЙ ЧАСТИ ОБМОТКИ

Рассчитаем бандаж, удерживающий лобовую часть, противоположную коллектору [также по ф-лам (58) и (59)].

Вес лобовой части обмотки с изоляцией $G = 5{,}4$ *кг*. (Уравнительные соединения отсутствуют.)

Средний диаметр обмотки в лобовой части . . . . $D_2 = 190$ *мм*
Диаметр стальной проволоки . . . . $d = 0{,}75$ „
Диаметр бандажа с округлением . . . . $D_1 = 225$ „

Напряжение в бандаже от собственной центробежной силы

$$\sigma_1 = k \cdot D_1^2 \left(\frac{n_1}{1000}\right)^2 = 0{,}022 \cdot 22{,}5^2 \left(\frac{1800}{1000}\right)^2 \approx 38 \text{ кг/см}^2.$$

Определяем необходимое число витков:

$$w = 1{,}13 \frac{G \cdot D_2}{d^2 (R_Z - \sigma_1)} \cdot \left(\frac{n_1}{1000}\right)^2 =$$

$$= 1{,}13 \frac{5{,}4 \cdot 19}{0{,}075^2 \cdot (3000 - 38)} \cdot \left(\frac{1800}{1000}\right)^2 \approx 24 \text{ витка.}$$

Полученное из расчета число витков вполне возможно уложить в один ряд.

В том случае, когда число витков получается очень большое, их обычно разделяют по длине лобовой части на 2—3 отдельных бандажа. В каждом бандаже может быть 2—3 ряда витков проволоки. В один ряд по всей длине лобовой части витки в этом случае не укладывают, так как сплошной бандаж резко ухудшает вентиляцию лобовых частей обмотки и тем самым может послужить причиной недопустимого перегрева ее.

Со стороны коллектора наложение бандажа необходимо произвести в двух местах: бандаж, удерживающий лобовую часть до хомутиков, и бандаж, удерживающий хомутики с петушками.

Первый бандаж нет необходимости рассчитывать, а воспользовавшись расчетом для лобовой части, противоположной коллектору, надо взять такое же количество витков.

Второй бандаж необходим из тех соображений, что основной бандаж лобовой части расположен довольно далеко от хомутиков; следовательно последние могут отгибаться при вращении, в особенности в машинах с большим числом оборотов, как в данном примере.

Расчет бандажа для хомутиков ведется обычным способом. К весу, приходящемуся на бандаж, следует отнести вес обмотки в хомутиках, вес самих хомутиков, вес изоляции и вес петушков, если они находятся под хомутиками.

Для данного примера следует брать половину веса петушков, так как они не расположены под хомутиками, а вынесены благодаря тому что коллектор имеет диаметр, который немногим меньше диаметра якоря.

Общий вес хомутиков, обмотки в хомутиках, изоляции и половины петушков:

$$G = 1{,}6 \textit{ кг};$$

$$D_2 = 190 \textit{ мм}; \quad D_1 = 225 \textit{ мм};$$

$$d = 0{,}5 \textit{ мм}.$$

Напряжение в бандаже от собственной центробежной силы бандажа равно напряжению в бандаже лобовой части обмотки, т. е.

$$\sigma_1 = 38 \textit{ кг/см}^2.$$

Определяем необходимое число витков:

$$w = 1{,}13 \frac{G \cdot D_2}{d^2 (R_Z - \sigma_1)} \left(\frac{n_1}{1000}\right)^2 =$$

$$= 1{,}13 \frac{1{,}6 \cdot 19}{0{,}05^2 (3000 - 38)} \cdot \left(\frac{1800}{1000}\right)^2 = 16 \text{ витков.}$$

Основные бандажи на лобовых частях обмотки должны быть расположены над обмоткодержателями, как это показано на рис. 184, для более жесткого скрепления всей лобовой части.

12. ОБМОТКОДЕРЖАТЕЛИ

Как указывалось выше, лобовые части обмотки опираются на обмоткодержатели и притягиваются к ним бандажами. Обмоткодержатель представляет собой фасонную литую или сварную шайбу и встречается самых разнообразных конструкций.

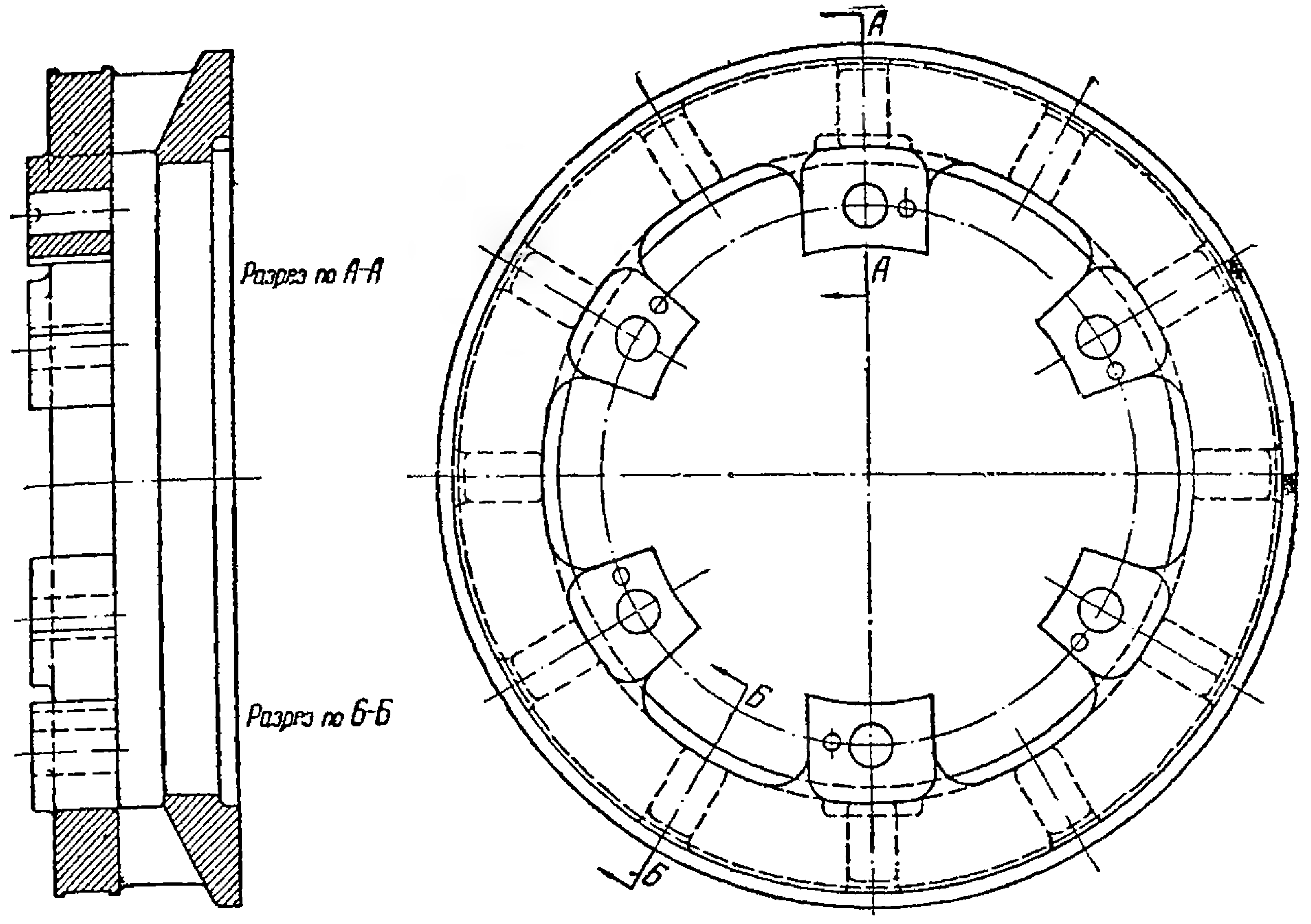


Рис. 185. Обмоткодержатель литой.

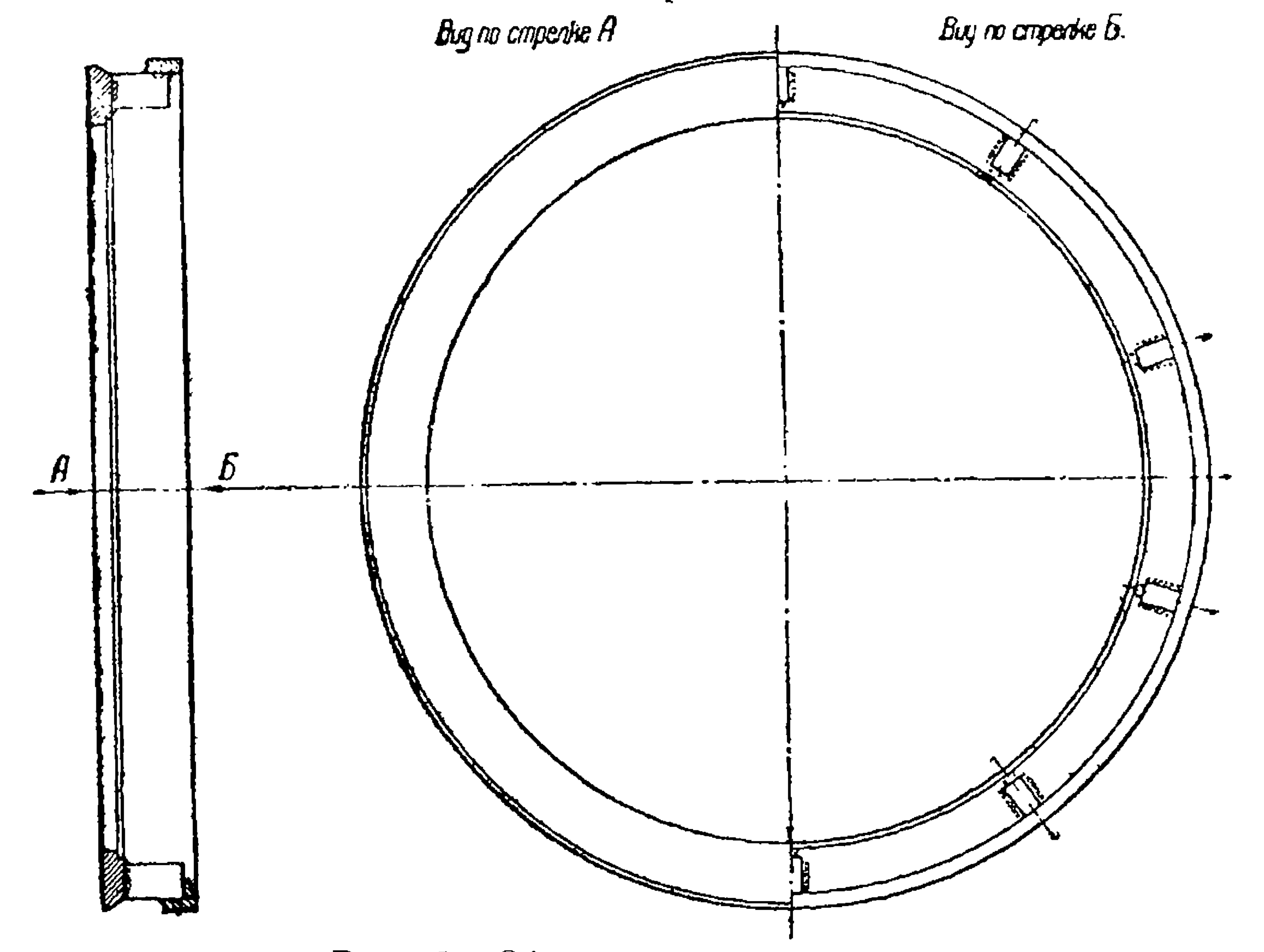


Рис. 186. Обмоткодержатель сварной.

На рис. 185 и 186 показаны различные выполнения обмоткодержателей.

Обмоткодержатели служат для двух целей: во-первых, они представляют собой шайбы, между которыми зажимаются листы железа якоря; во-вторых, обмоткодержатель снабжается кольцевым выступом, на который опирается лобовая часть обмотки. Этот кольцевой выступ изолируется нормально прессшпаном. Для получения противосыростной и теплостойкой изоляции прессшпан заменяется миканитом. Способы изолировки обмоткодержателей см. главу XI.

13. КОЛЛЕКТОР, ТРАВЕРСА И ЩЕТКОДЕРЖАТЕЛИ

Коллектор состоит из ряда медных пластин, расположенных по цилиндру.

Обычное исполнение коллектора показано на рис. 187.

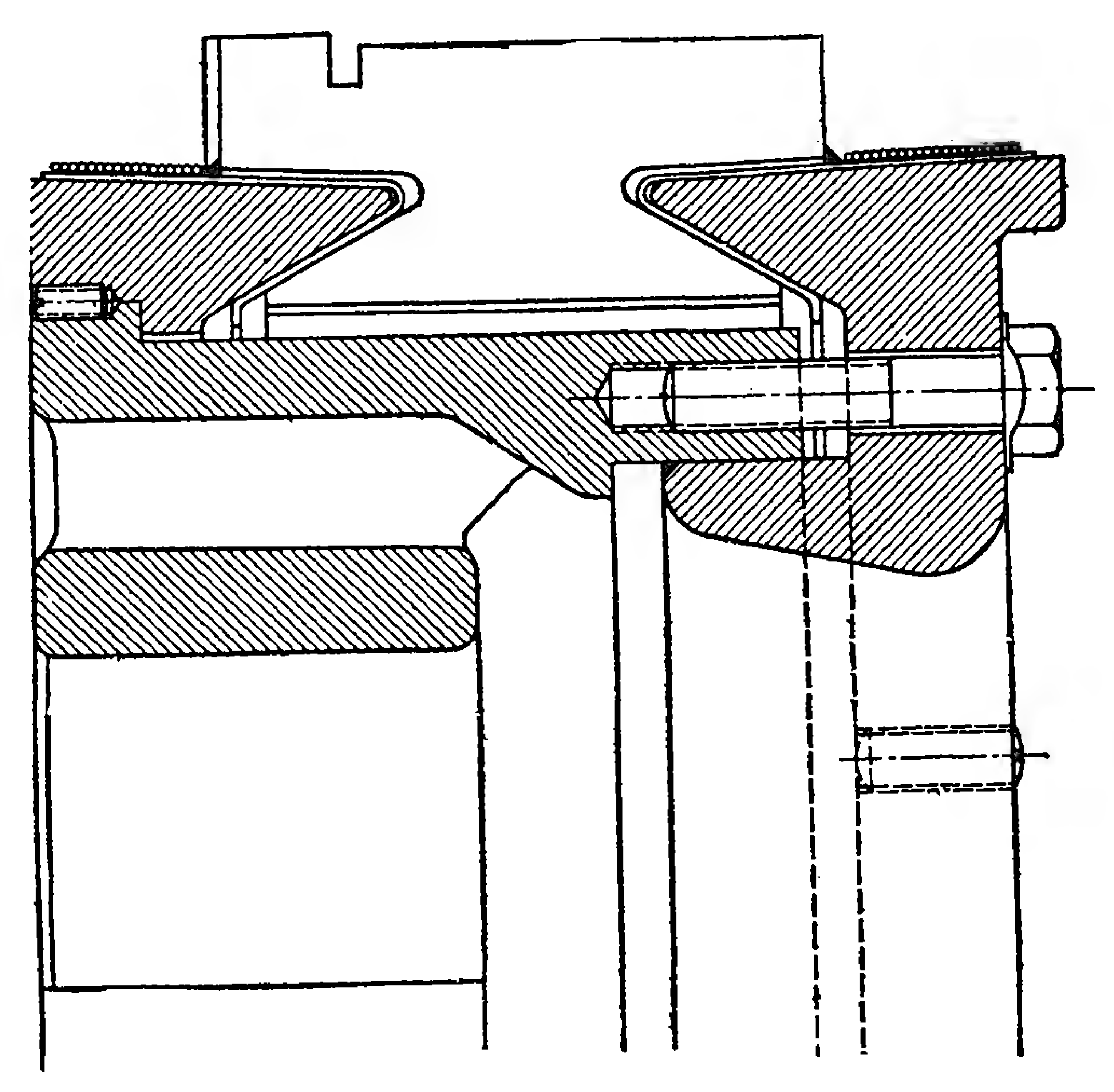


Рис. 187. Коллектор.

Отдельные пластины (называемые также ламелями) изолированы друг от друга твердым коллекторным миканитом и стянуты между двумя специальными изолированными конусными кольцами. С этой целью внутренняя часть пластины имеет форму ласточкиного хвоста, в углубления которого входят соответствующие выступы колец. Одно из колец часто выполняется за одно целое со втулкой (или буксой)

коллектора или плотно насаживается на нее. Другое кольцо притягивается к втулке болтами или специальной гайкой. При этом благодаря конусности колец возникает усилие между кольцами и ласточкиными хвостами пластин, прижимающее последние к оси коллектора.

В быстроходных машинах благодаря большим центробежным силам может происходить выпучивание коллекторных пластин. Для предотвращения этого коллекторные пластины в таких машинах стягиваются одним или несколькими стальными кольцами, надеваемыми в горячем состоянии. Кольца изолируются от пластин миканитовыми прокладками.

Такие кольца показаны на рис. 188.

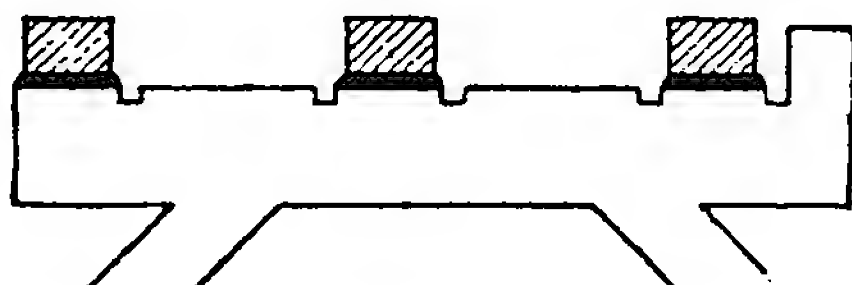


Рис. 188. Коллектор со стяжными кольцами.

Для изоляции пластин от нажимных колец служат так называемые манжеты, прессованные из миканита по форме выступов нажимных колец.

Коллекторные пластины имеют с одной стороны прорезы (шлицы), куда впаиваются так называемые петушки, представляющие собой пластины, соединяющие обмотку якоря с коллекторными пластинами. Они изготовляются из полосовой или листовой меди. В зависимости от взаимного расположения концов обмотки и коллектора петушки могут иметь ту или иную форму, как показано на рис. 189, *а* и *б* и 190.

Поперечное сечение петушков определяется по формуле:

$$f = \frac{I}{2a} \cdot \sqrt{\frac{2xp}{3K}}$$

где I — сила тока в якоре; $2a$ — число параллельных ветвей; K — число коллекторных пластин; p — число пар полюсов; $x = 5$ при числе коллекторных пластин, перекрываемых щеткой, равном 2 или большем 2; $x = 8$ при числе коллекторных пластин, перекрываемых щеткой, равном единице.

Рис. 189. Хомутики с катушками.

Соединение петушков с коллекторными пластинами производится впайкой их в шлицы пластин. Для более надежного соединения петушков с пластинами в быстроходных машинах петушки, кроме пайки,

приклепываются. Другие концы петушков соединяются с концами якорной обмотки при помощи хомутиков, с которыми они также склепываются и пропаиваются.

На рис. 189, *а* и *б* показаны хомутики с петушками, а на рис. 190 показан хомутик стержневой обмотки со стороны, противоположной коллектору (без петушка).

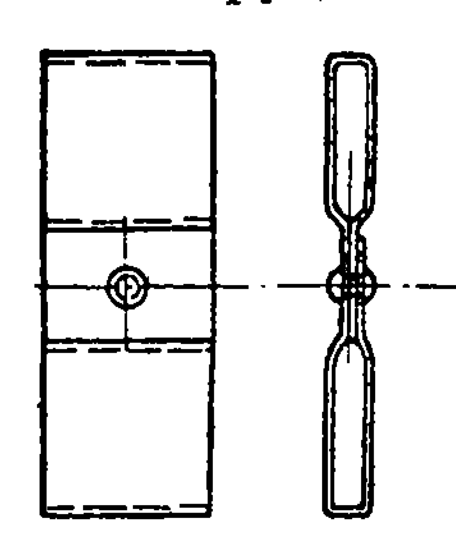


Рис. 190. Хомутик стержневой обмотки со стороны, противоположной коллектору (без катушки).

Траверса служит для укрепления пальцев, на которые насаживаются щеткодержатели со щетками.

В современных машинах применяются почти исключительно угольные щетки. Размер щетки по окружности коллектора выбирается таким образом, чтобы щетка перекрывала от $1^1/_2$ до 3 коллекторных пластин. Размер щетки по длине коллектора обычно бывает от 10 до 35 *мм*. Щетки располагаются группами, причем число групп обычно делается равным числу полюсов машины.

Число щеток в каждой группе зависит от допускаемой силы тока на одну щетку. Зная силу тока, приходящуюся на каждую группу щеток, и допустимую плотность тока для данной марки щеток, нетрудно определить число щеток в группе.

Щетки закрепляются в щеткодержателях.

Щеткодержатели бывают самых разнообразных конструкций. Основное назначение щеткодержателей — прижимать щетку с необходимой силой к коллектору, причем щетка должна сидеть в обойме щеткодержателей настолько плотно, чтобы не было вибраций и перекосов, которые являются одной из причин искрения на коллекторе.

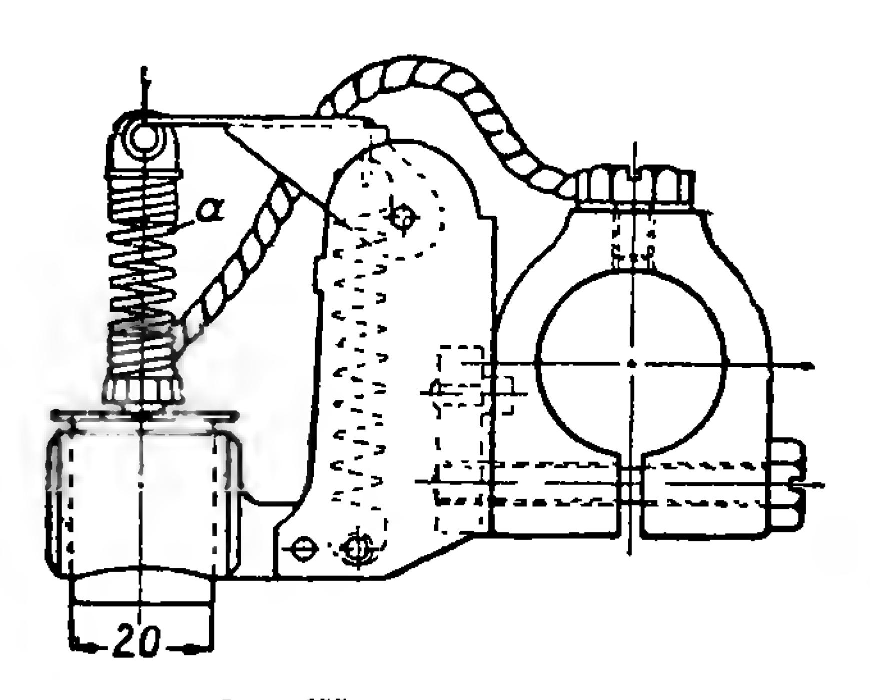


Рис. 191. Щеткодержатель со спиральной пружиной.

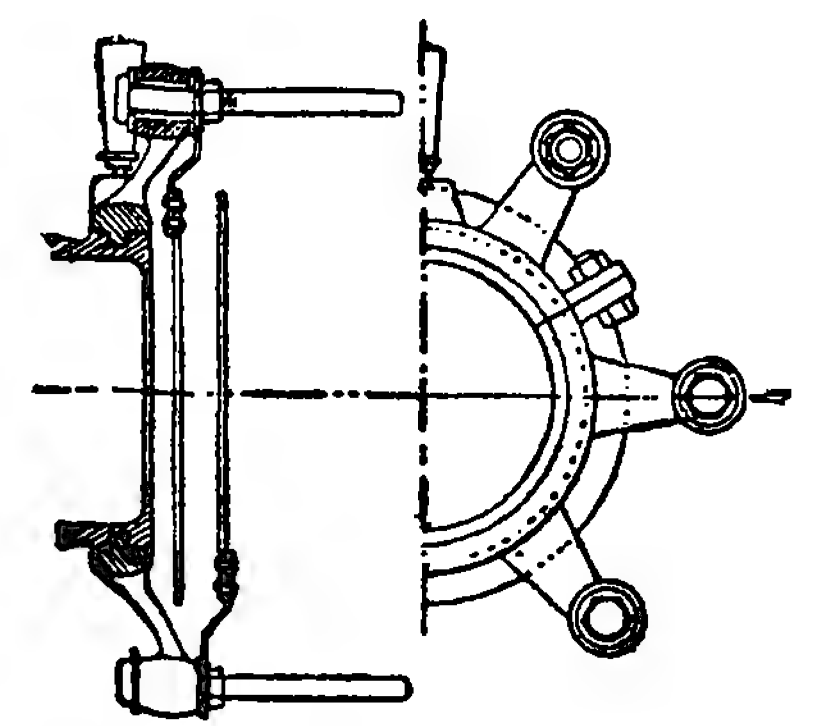


Рис. 192. Траверса лучевого типа.

Нажатие щеток осуществляется спиральной или пластинчатой пружиной, укрепленной на щеткодержателе.

На рис. 191 представлена конструкция щеткодержателей со спиральной пружиной.

Каждая группа щеток, расположенных под одним полюсом, помещается на отдельном пальце. Последний представляет собой цилиндрический стержень, закрепляемый на траверсе и изолированный от нее.

В качестве изоляции обыкновенно применяются изолитовые или прессшпановые втулки и шайбы.

Конструкции самой траверсы весьма разнообразны. Их можно разбить на два типа: лучевые и кольцевые.

Оба типа представлены на рис. 192 и 193.

Лучевые траверсы обычно крепятся на подшипниках машины, а кольцевые — на станине.

Закрепление траверсы допускает возможность ее поворота на некоторый угол вокруг оси машины, что, как известно, необходимо для установки щеток в нейтральной зоне.

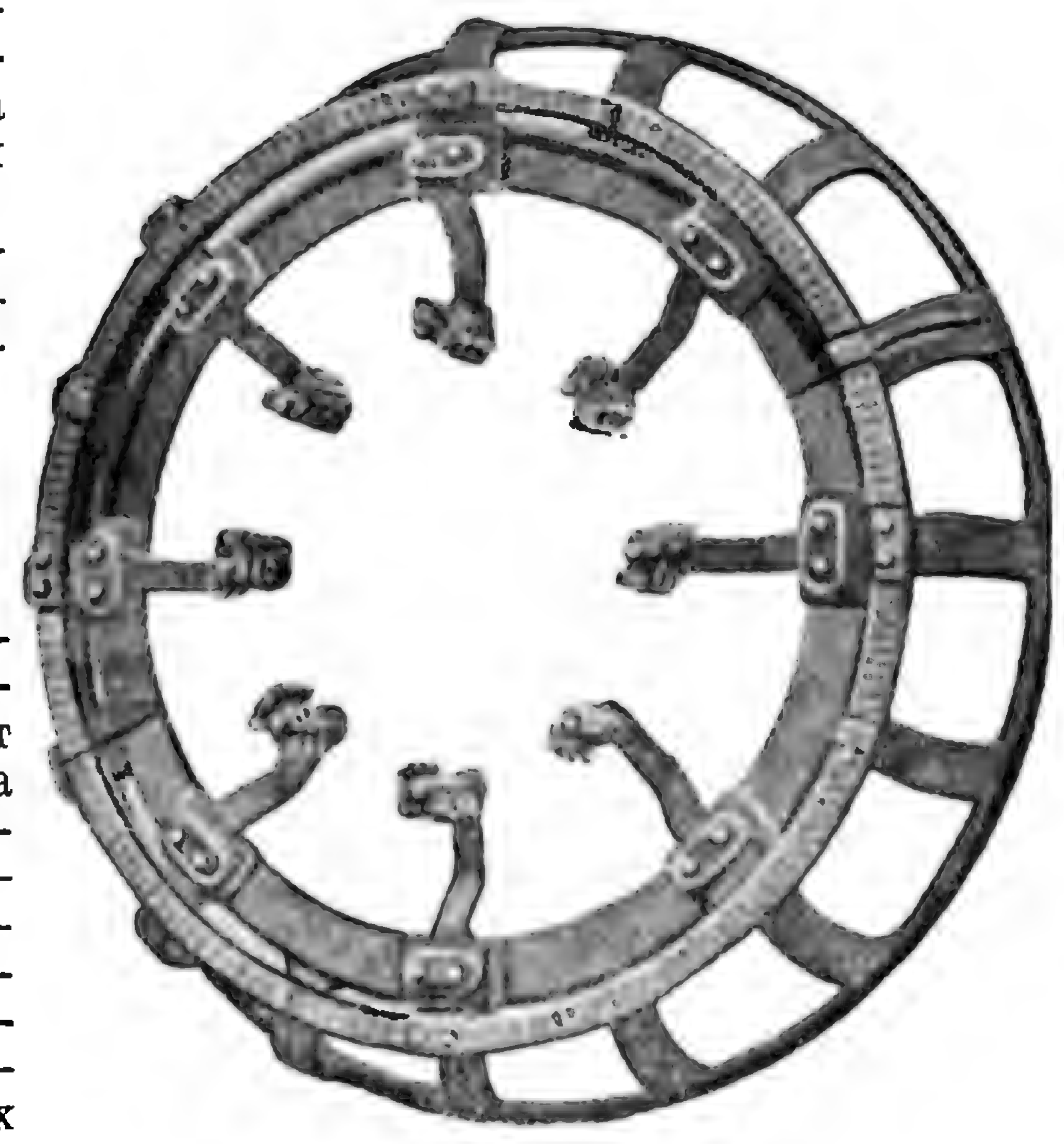


Рис. 193. Траверса кольцевого типа.

14. ОБМОТКИ ВОЗБУЖДЕНИЯ

Обмотки возбуждения машин постоянного тока могут быть разделены на шунтовые (параллельные) обмотки, сериесные (последовательные) обмотки, обмотки добавочных полюсов и компенсационные обмотки. Все эти обмотки являются неподвижными и располагаются на полюсах машин.

В зависимости от способа возбуждения, машина имеет либо шунтовую обмотку (шунтовые машины), либо сериесную обмотку (сериес-машины).

В машинах со смешанным возбуждением (компаунд-машины) имеется как сериесная, так и шунтовая обмотка.

Что касается добавочных полюсов, то ими, как правило, снабжаются все современные машины. Компенсационная обмотка применяется в машинах с тяжелыми условиями коммутации и встречается сравнительно редко.

А. Шунтовые катушки

Шунтовые катушки состоят обычно из большого числа витков небольшого сечения. Они мотаются из круглых или прямоугольных

проводников с изоляцией ПБД, реже ПБО, В мелких машинах, с катушками из очень тонких проводников, применяются проводники с шелковой или эмалевой изоляцией.

В небольших машинах шунтовые катушки надеваются непосредственно на полюс. Они наматываются на специальных оправках и затем скрепляются тафтяной лентой.

Для получения усиленной изоляции катушки от сердечника полюса и от станины в местах соприкосновения катушки с последними катушка покрывается гибким миканитом и лакотканью.

На рис. 194 представлен полюс с шунтовой катушкой такого типа.

В больших и средних машинах шунтовые катушки наматываются на специальный железный каркас, вместе с которым они надеваются на полюс (рис. 195).

К а р к а с, показанный на рис. 196, изготовляется из тонкого листового железа, толщиной 1—2 *мм*. С одной стороны бортики каркаса отгибаются заранее, а с другой стороны — после намотки катушки. К отогнутым бортикам приклепываются или привариваются железные шайбы.

В машинах с нормальной изоляцией каркас покрывается 4—5 слоями прессшпана, толщиной 0,5 *мм*.

Между железными шайбами каркаса и катушкой кладутся прессшпановые шайбы, толщиной 2—2,5 *мм*. В машинах с усиленной изоляцией прессшпан заменяется миканитом.

Так как в месте стыка прессшпановых шайб с изоляцией стенок каркаса часто имеет место пробой изоляции, в этом месте либо прокладываются согнутые под прямым углом полоски лакоткани, либо в этих углах кладется виток из английского шнура.

Начальный и конечный выводные концы катушки чаще всего выполняются следующим образом.

После наложения первого витка к началу его припаивается медная тонкая полоска, площадь поперечного сечения которой равна приблизительно площади поперечного сечения проводника катушки. Длина этой полоски выбирается таким образом, чтобы после намотки всех витков конец ее выступал наружу. После намотки приблизительно половины всех рядов витков закладывается вторая такая же пластина, но изогнутая так, чтобы один ее конец мог быть припаян к концу последнего витка катушки, а другой конец выходил наружу. Наматывая оставшиеся ряды витков, закрывают ими выводную пластину. Таким образом выводные пластины прочно удерживаются в катушке.

Выводные пластины изолируются лакотканью и тафтяной лентой.

К концам выводных пластин приклепываются и припаиваются зажимы, в которых закрепляются соединительные проводники. Выводные пластины с зажимами видны на рис. 195.

Для получения п р о т и в о с ы р о с т н о й и з о л я ц и и, помимо замены прессшпана миканитом, катушка подвергается компаундированию. Благодаря этому процессу все поры заполняются компаундной массой, и катушка становится влагонепроницаемой.

Для получения т е п л о с т о й к о й и з о л я ц и и применяют проводники, изолированные специальными материалами, состоящими

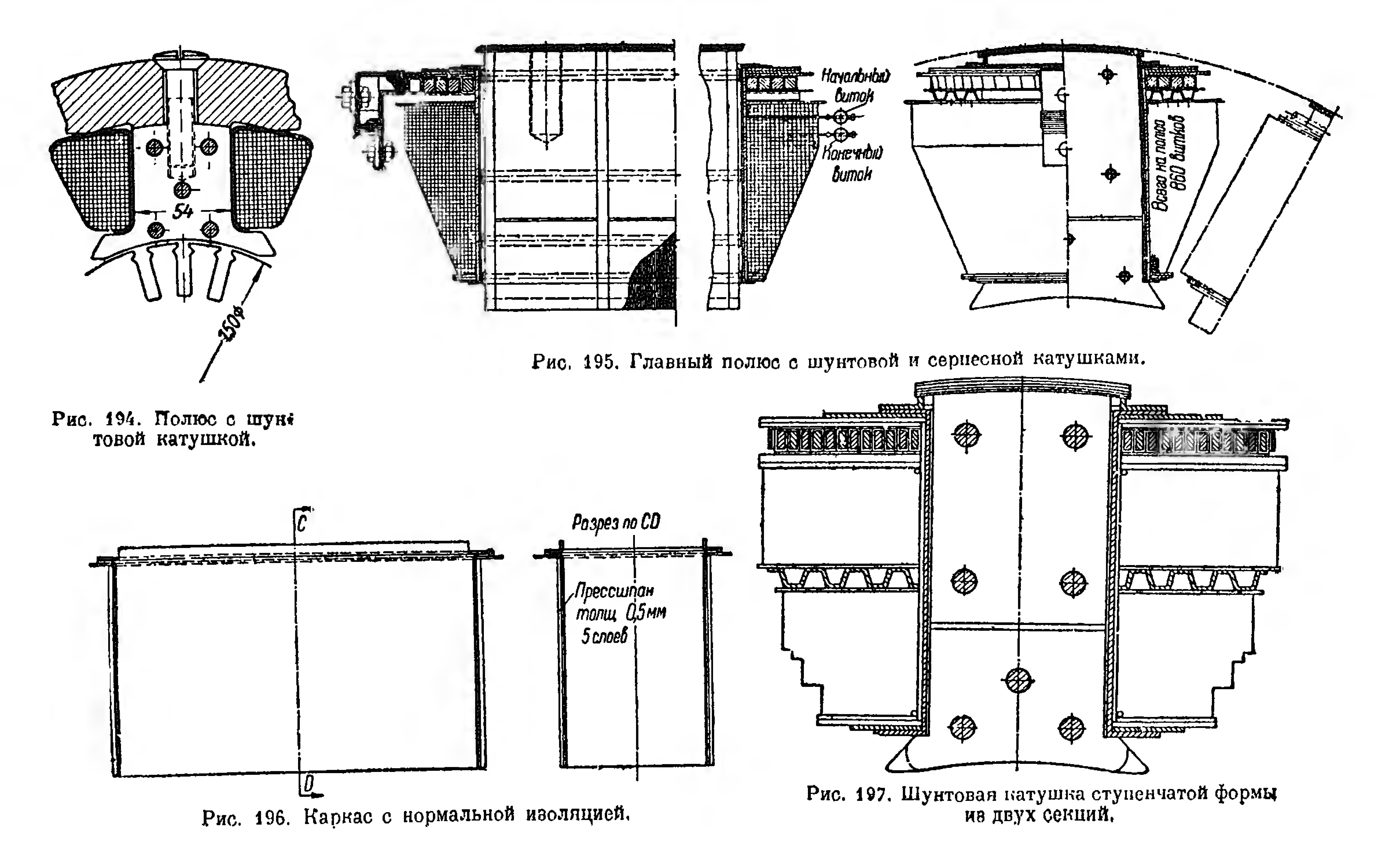


Рис. 194. Полюс с шунтовой катушкой.

Рис. 195. Главный полюс с шунтовой и сериесной катушками.

Рис. 196. Каркас с нормальной изоляцией.

Рис. 197. Шунтовая катушка ступенчатой формы из двух секций.

в основном из асбеста. Изоляция каркаса в этом случае может быть из миканита или других теплостойких материалов.

Размеры катушек и их форма определяются в зависимости от числа витков, сечения проводников, а также и от наличия свободного места между полюсами. При большом количестве рядов катушку обычно выполняют ступенчатой формы, благодаря чему удается уложить требуемое по расчету количество витков. Одновременно увеличивается наружная поверхность катушки, и следовательно, улучшаются условия ее охлаждения.

На рис. 197 показана катушка ступенчатой формы.

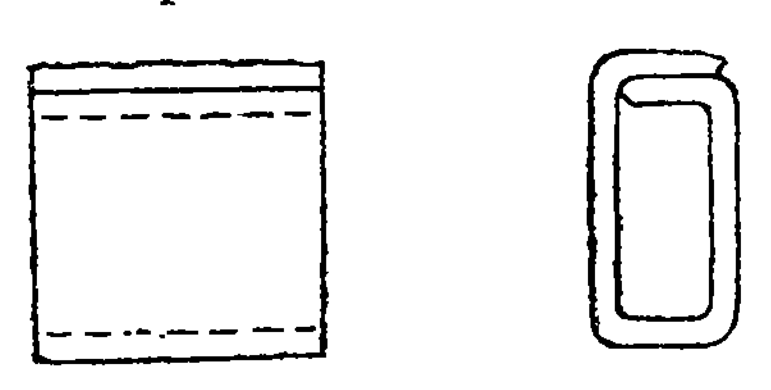


Рис. 198. Распорка между секциями шунтовой катушки.

Для увеличения поверхности охлаждения шунтовые катушки часто выполняются секционированными. На рис. 197 показана катушка, разделенная на две секции.

Между отдельными секциями прокладываются железные или деревянные распорки. Первые являются более надежными, так как деревянные распорки могут со временем ослабнуть вследствие высыхания.

Наиболее простые и дешевые — железные — распорки показаны на рис. 198. Они загибаются и свариваются из тонкого листового железа. Распорки закрепляются несколькими витками пенькового шнура.

Б. Сериесные катушки

Сериесные катушки наматываются обыкновенно из проводников прямоугольного или квадратного сечения.

Проводники применяются как изолированные, так и (при больших сечениях) голые. В последнем случае между отдельными витками прокладывается изоляция из прессшпана или летероида. В последнее время применяют алюминиевые проводники. Они имеют то преимущество, что не требуют никакой изоляции, так как алюминий в естественных условиях покрывается на поверхности очень тонким слоем окиси алюминия, которая создает естественную изоляцию между витками.

Катушки из алюминиевых проводников значительно легче медных и обладают хорошей теплоотдачей, обусловленной большой теплопроводностью естественной изоляции.

Так как сериесные катушки обычно имеют проводники большого сечения, то намотка их в несколько рядов представляет затруднение ввиду трудности выгибания проводника при переходе из одного ряда в другой.

При плоских проводниках (лента) такая намотка становится совершенно невыполнимой. В этих случаях, если невозможно все витки уместить в одном ряду, намотку ведут двумя проводниками в разные стороны, причем концы их заранее соединяют переходной пластиной. Получается катушка с двумя рядами витков, причём оба выводные конца получаются снаружи.

Для укрепления витков на катушку накладывается проволочный бандаж.

Так же как и шунтовые, сериесные катушки изготовляются на каркасе и без каркаса.

В. Компаундная обмотка

В машинах компаунд на полюсах помещаются и шунтовые и сериесные катушки. Они обычно располагаются одна над другой, так как при расположении одной катушки внутри другой затрудняется охлаждение внутренней катушки.

На рис. 195 и 197 показан полюс компаунд-машины с шунтовой и сериесной катушками возбуждения.

Г. Катушки добавочных полюсов

Катушки добавочных полюсов, наматываемые из плоской (ленточной) меди, ничем не отличаются от сериесных катушек. Такие катушки наиболее просты в изготовлении. Однако при больших силах тока катушки добавочных полюсов приходится изготовлять из толстой плоской меди. Для лучшего охлаждения таких катушек их изготовляют из голых проводников, причем намотка ведется на узкую сторону проводника (на ребро).

Между отдельными витками катушки прокладываются витки английского шнура, благодаря чему воздух хорошо проникает между витками, чем и достигается хорошее охлаждение.

Изоляция катушки от сердечника накладывается непосредственно на сердечник полюса и состоит нормально из 5—6 слоев прессшпана, толщиной 0,5 *мм*.

Так как при намотке катушки витки ее образуют винтовую линию, то торцовые стороны катушек не имеют плоской поверхности, что затрудняет закрепление катушки на полюсе. Чтобы выравнять катушку, одну ее сторону после намотки осаживают в специальном приспособлении под прессом, чем достигается выравнивание торцовых сторон катушки.

На рис. 199 показан добавочный полюс с катушкой.

ГЛАВА V

КОНСТРУКЦИЯ ОБМОТОК СТАТОРОВ СИНХРОННЫХ И АСИНХРОННЫХ МАШИН

1. КЛАССИФИКАЦИЯ СТАТОРНЫХ ОБМОТОК

Обмотки статоров синхронных и асинхронных машин подразделяются на обмотки однослойные и двухслойные. В однослойных обмотках в каждом пазу лежит одна катушечная сторона. В двухслойных — в каждом пазу лежат две катушечные стороны. Как те, так и другие обмотки могут выполняться в виде катушечных или в виде стержневых обмоток. Последние употребляются в турбогенераторах и очень круп-

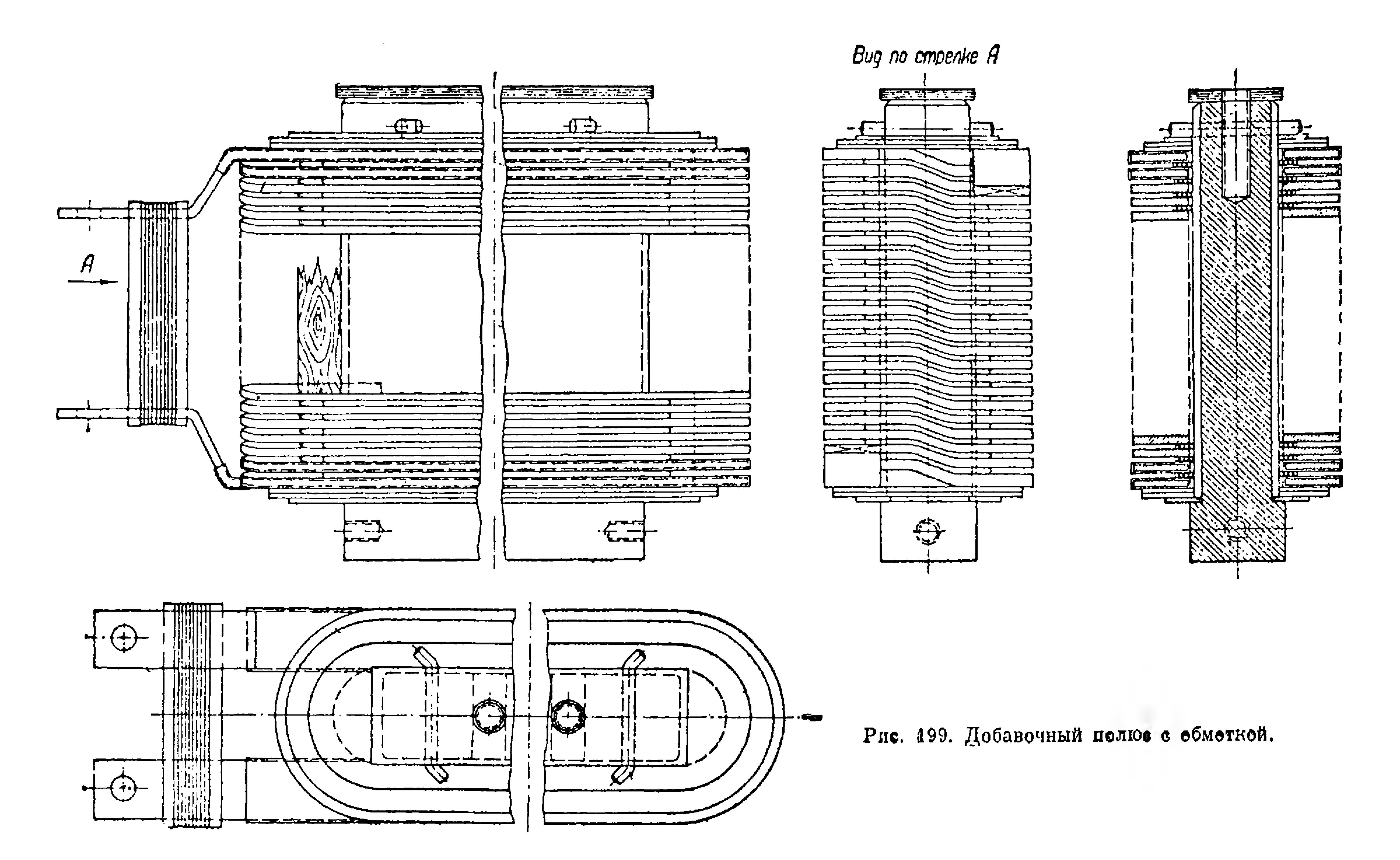


Рис. 199. Добавочный полюс с обмоткой.

ных синхронных машинах с явновыраженными полюсами и рассматриваться здесь не будут.

В современных машинах переменного тока статорные обмотки преимущественно выполняются двухслойными. В частности, разработанные в самое последнее время всесоюзные серии синхронных и асинхронных машин имеют двухслойную (так называемую «американскую») обмотку. Однако среди машин прежних выпусков, находящихся в настоящее время в эксплоатации, имеется большое количество машин с однослойной обмоткой. Некоторые иностранные фирмы продолжают и по настоящее время изготовлять машины с однослойной обмоткой.



Рис. 200. Статор с однослойной обмоткой.

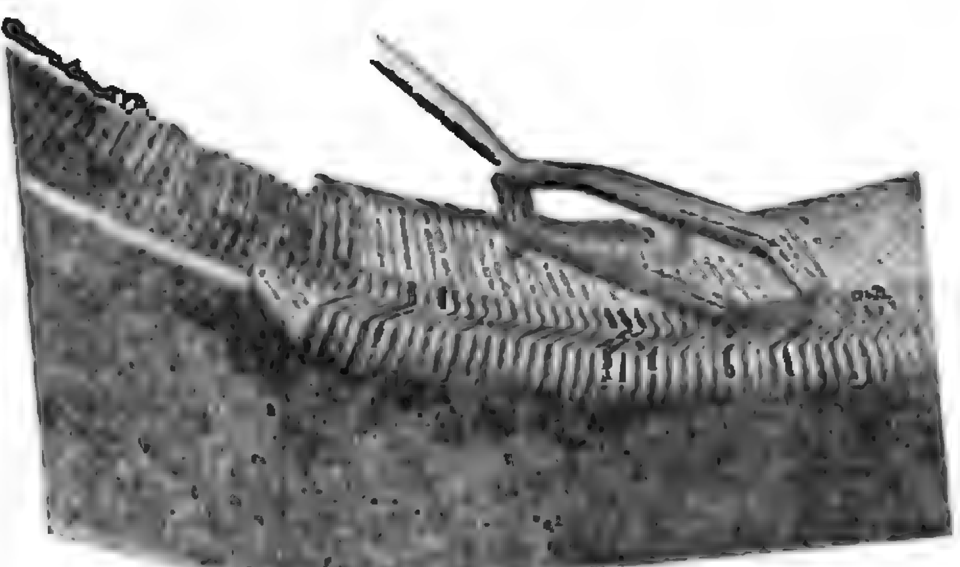


Рис. 201. Статор с двухслойной обмоткой.

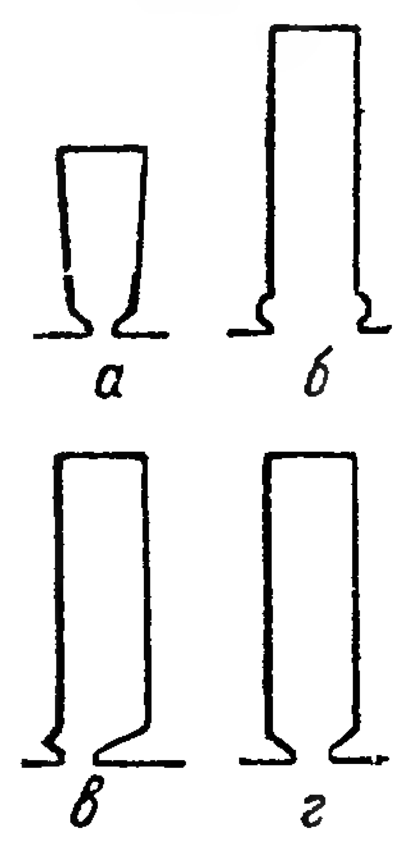


Рис. 202. Формы пазов статоров.

Причины, по которым двухслойные обмотки получили наибольшее распространение, были указаны выше. С конструктивной и производственной сторон эти преимущества заключаются в том, что при двухслойных обмотках все катушки одинаковы по форме и по размерам. Это обстоятельство значительно упрощает изготовление обмотки, в особенности при массовом производстве. В однослойных обмотках отдельные катушки обыкновенно неодинаковы между собой как по расстоянию между катушечными сторонами, так и по форме

лобовых частей. Последние располагаются в два или три ряда по окружности. На рис. 200 показан статор с однослойной обмоткой, а на рис. 201 — с двухслойной.

По своему выполнению изоляции катушек для открытых и полузакрытых пазов различаются между собой.

На рис. 202 показаны наиболее употребительные в настоящее время формы пазов для статорных обмоток. При открытых пазах катушка целиком изготовляется до вкладки в пазы на шаблоне и полностью изолируется. Исключением являются обмотки для напряжения до 500 V. Здесь в большинстве случаев до вкладки катушек изолируется паз. При полузакрытых пазах нужно различать следующие выполнения катушек.

1. Катушки выполняются вручную на статоре впротяжку. В этом случае изолируется паз до протяжки катушки. Такие катушки и способ их изготовления видны на рис. 203.

2. Катушки изготовляются на шаблоне и затем вкладываются в паз по одному проводнику через шлиц. Такие катушки называются **р а с с ы п н ы м и**. Паз в этом случае также изолируется до вкладки катушки.

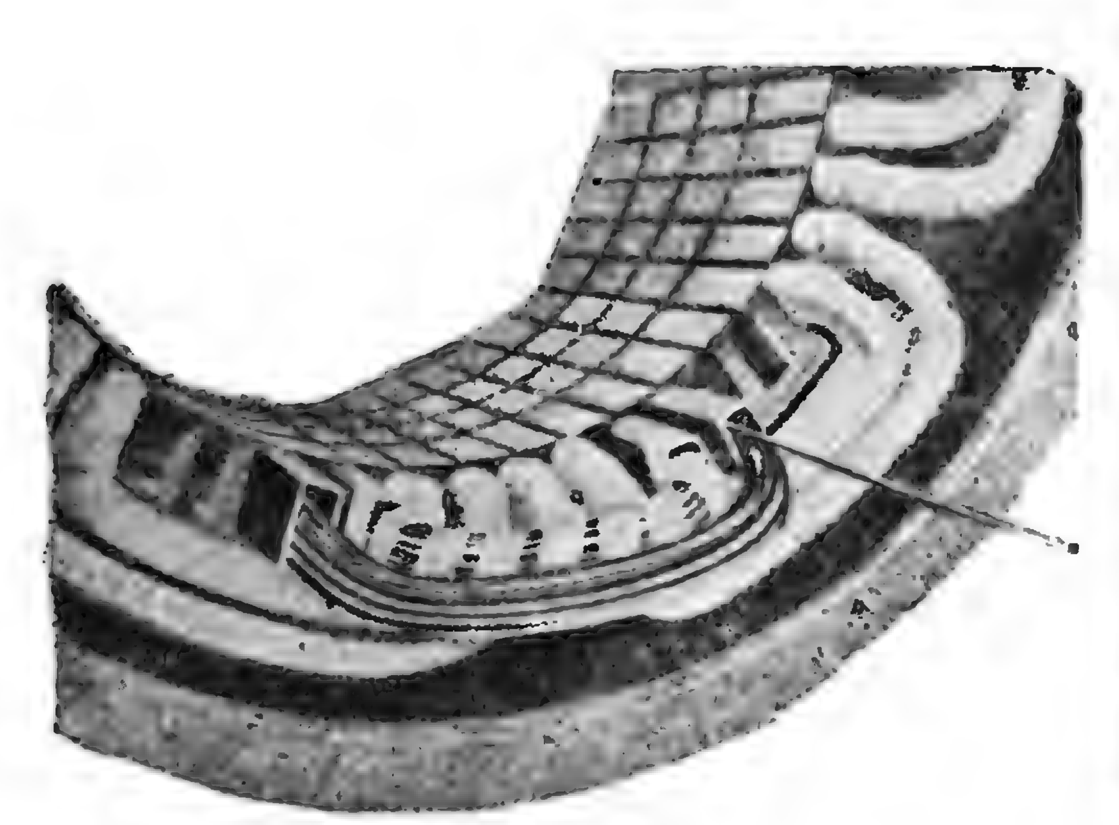


Рис. 203. Обмотка, выполняемая впротяжку.

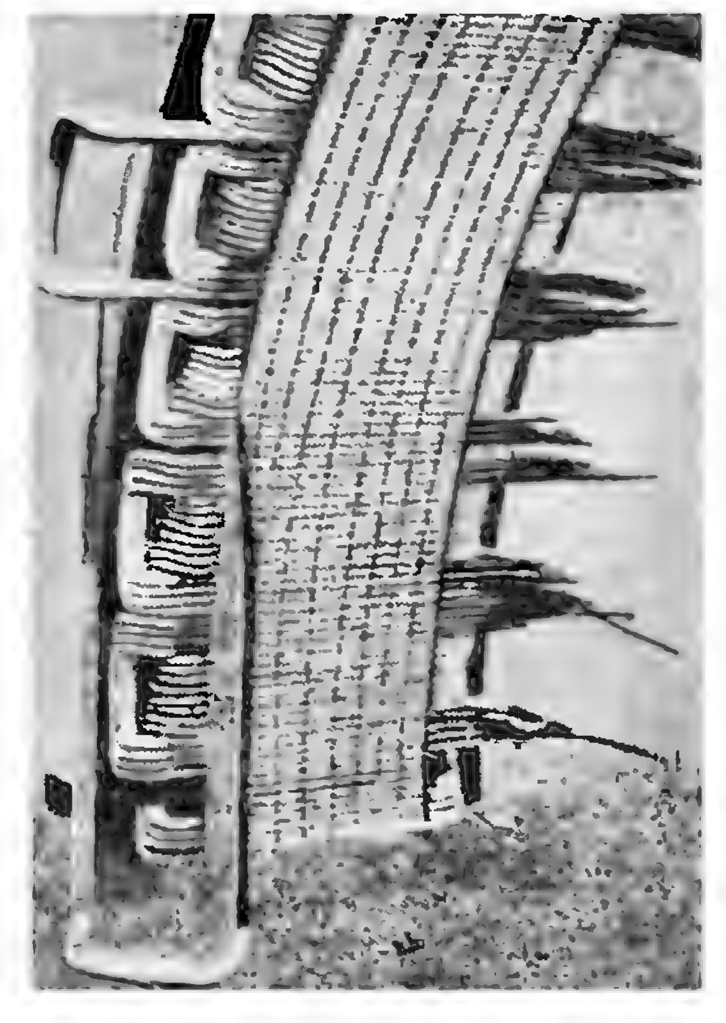


Рис. 204. Разрезная обмотка.

3. Каждая катушка является **с о с т а в н о й** из двух отдельных катушек, так называемых **п о л у к а т у ш е к**, изготовляемых на шаблоне. Каждая полукатушка вкладывается в паз отдельно через шлиц. Так же как и при рассыпных катушках, паз изолируется до вкладки катушек. Составная катушка показана ниже на рис. 222.

4. На шаблоне изготовляются прямые части катушки и одна лобовая часть. Вторая лобовая часть остается прямой. После вкладки обмотки в паз выступающие из паза концы отгибаются и соединяются между собой, образуя вторую лобовую часть. Такие катушки называются **р а з р е з н ы м и**. Изоляция пазовых частей и одной лобовой части выполняется заранее на самой катушке. Вторая лобовая часть изолируется на статоре. Такие катушки и вкладка их в пазы показаны на рис. 204.

Катушки, выполняемые впротяжку, и разрезные применяются только в однослойных обмотках. Составные катушки применяются при двухслойных обмотках. Прочие виды катушек применяются как при двухслойных обмотках, так и при однослойных.

Обмотки с рассыпными и составными катушками применяются для напряжений не выше 500 V, так как для более высоких напряжений здесь трудно получить надежную изоляцию.

При современных способах изолировки обмоток вполне надежная изоляция для высоких напряжений может быть получена только в тех случаях, когда она изготовляется вне паза или в виде отдельной гильзы, или на самой катушке. При обмотках с рассыпными и составными катушками этого сделать нельзя, так как изоляция паза должна быть открытой для возможности вкладывания катушек через шлиц паза.

Закрепление обмоток в пазах производится посредством клиньев, так же как в якоре машин постоянного тока.

2. КАТУШКИ ОДНОСЛОЙНОЙ ОБМОТКИ

Как уже было сказано, однослойные обмотки имеют катушки разной формы. Для того чтобы уложить обмотку в пазы статорного железа, лобовые части катушек приходится располагать в два или три ряда по окружности. На рис. 205 показано расположение лобовых частей обмотки в двух рядах, а на рис. 206 — в трех рядах. Необходимость расположения лобовых частей в разных рядах при однослойной обмотке наглядно видна на рис. 207. Как уже было сказано выше, при однослойных обмотках отдельные катушки соединяются в так называемые катушечные группы. Число катушек в группе равно числу пазов на полюс и фазу. Лобовые части катушек одной группы имеют одинаковую форму, но разные размеры. Они располагаются в одном ряду.

3. КАТУШКИ ДВУХСЛОЙНОЙ ОБМОТКИ

В отличие от катушек однослойной обмотки, форма лобовых частей катушек двухслойной обмотки позволяет выполнять все катушки совершенно одинаковыми по форме и размерам. Эти катушки подобны катушкам якорных обмоток машин постоянного тока. Как видно из рис. 208, стороны катушки располагаются в разных слоях. Переход из одного слоя в другой осуществляется выгибом лобовой части в головке катушки.

Полукатушки составных катушек отличаются друг от друга положением головки относительно средней линии катушки. Каждая из этих полукатушек изготовляется самостоятельно, и после укладки в пазы они соединяются друг с другом параллельно.

4. ИЗОЛЯЦИЯ КАТУШЕК

А. Изоляция катушек, выполняемых впротяжку

При такого рода обмотке пазы статорного железа изолируются до протяжки витков катушки. Для этого в паз вставляется изоляционная гильза, через которую и протягиваются проводники катушки. Для

напряжения до 500 V изоляционная гильза может быть изготовлена из 6—7 слоев прессшпана, толщиной 0,2 *мм*. Между слоями прессшпана при изготовлении гильзы закладывается один слой (вперекрой)

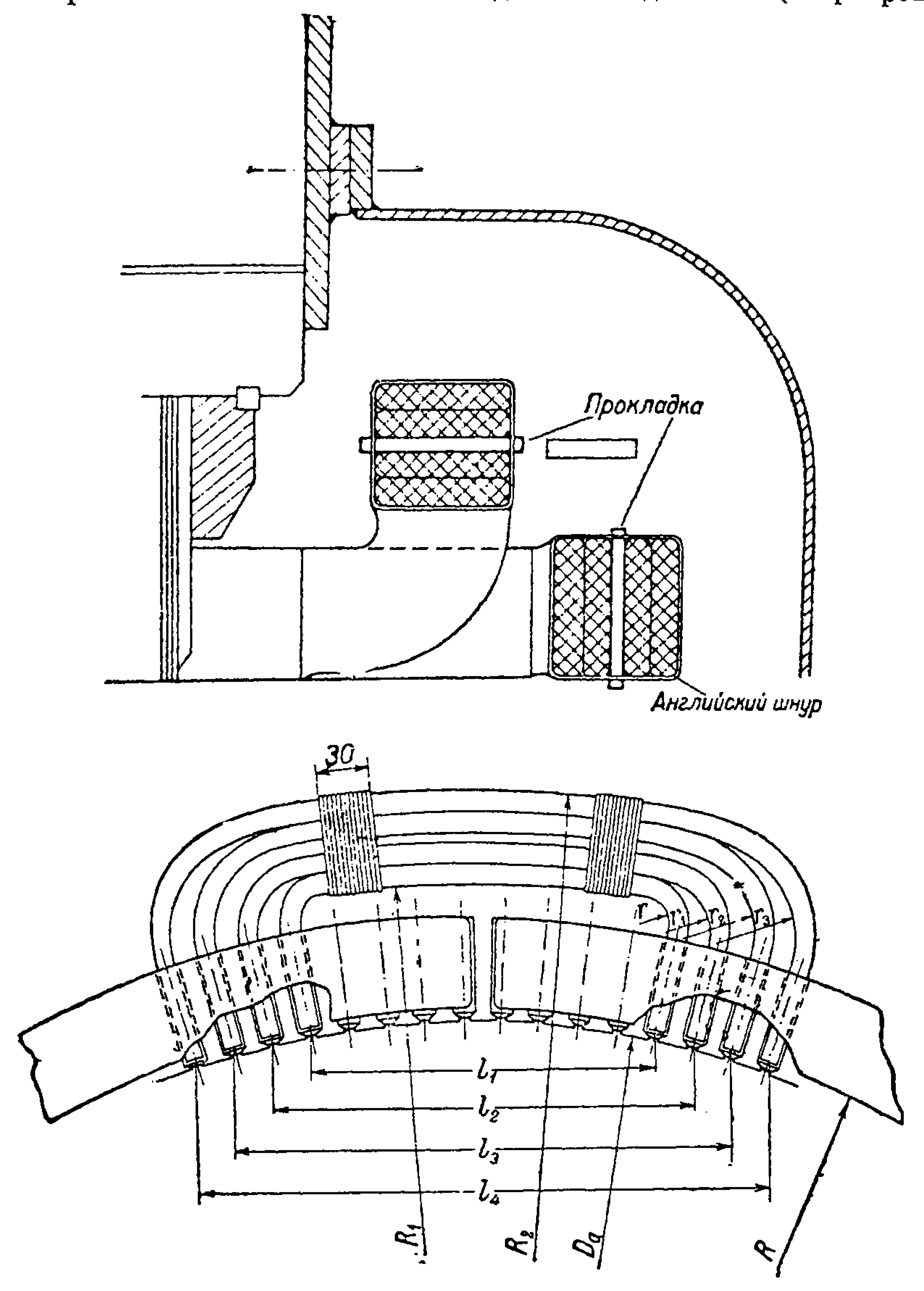


Рис. 205. Расположение лобовых частей в два ряда.

лакоткани, толщиной 0,3 *мм*. На рис. 209, *а* показана изоляция для напряжения до 500 V.

Для высоковольтных машин, напряжением 3000—3150 V, применяется твердопрессованная гильза из 5—6 слоев микафолия, толщиной

0,3—0,35 *мм*. Для предохранения гильзы от повреждения поверх микафолия накладывается один слой летероида толщиной 0,15 *мм*.

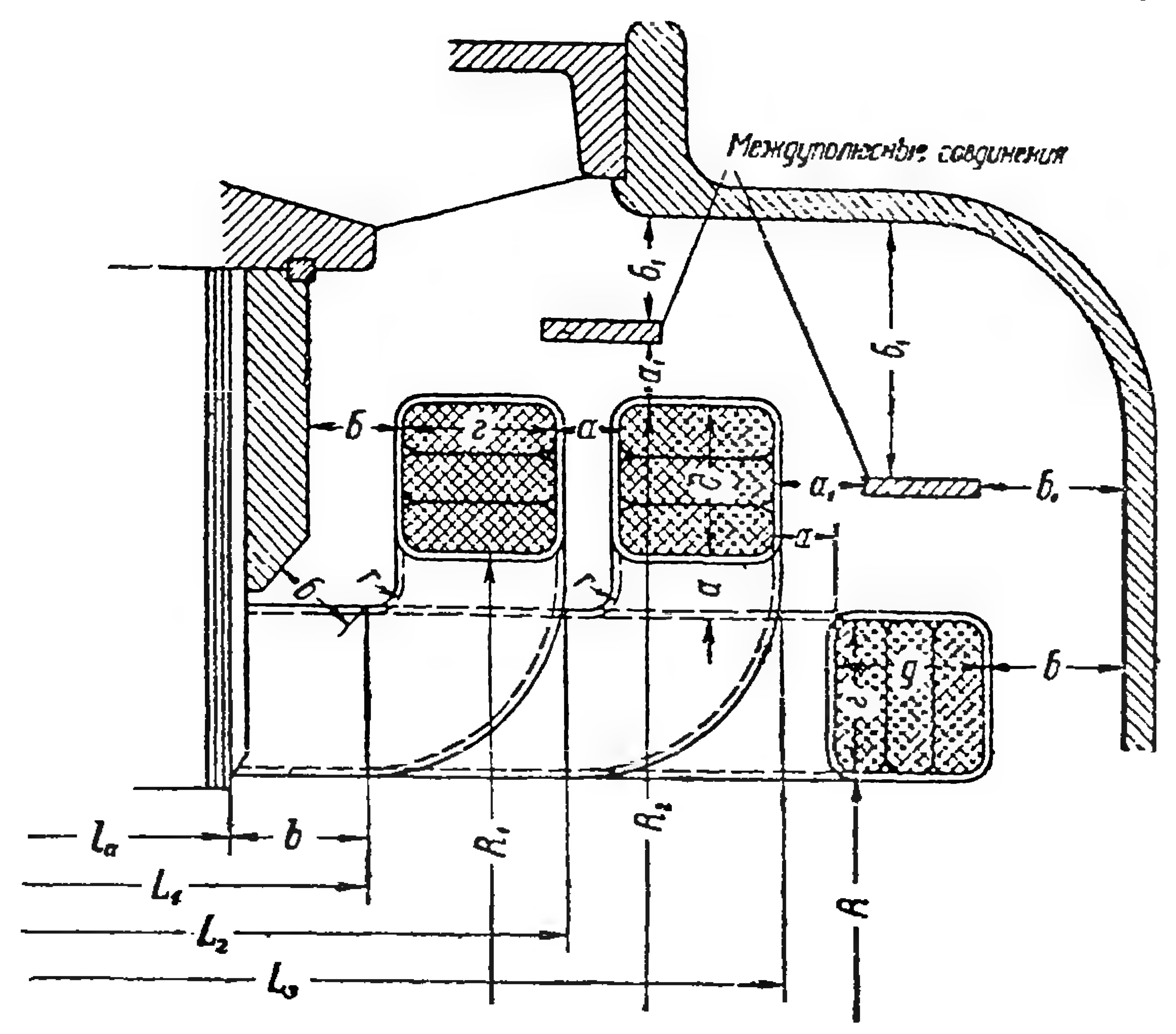


Рис. 206. Расположение лобовых частей в три ряда.

Пазовая изоляция для напряжения 3000—3150 V показана на рис. 210, *а*.

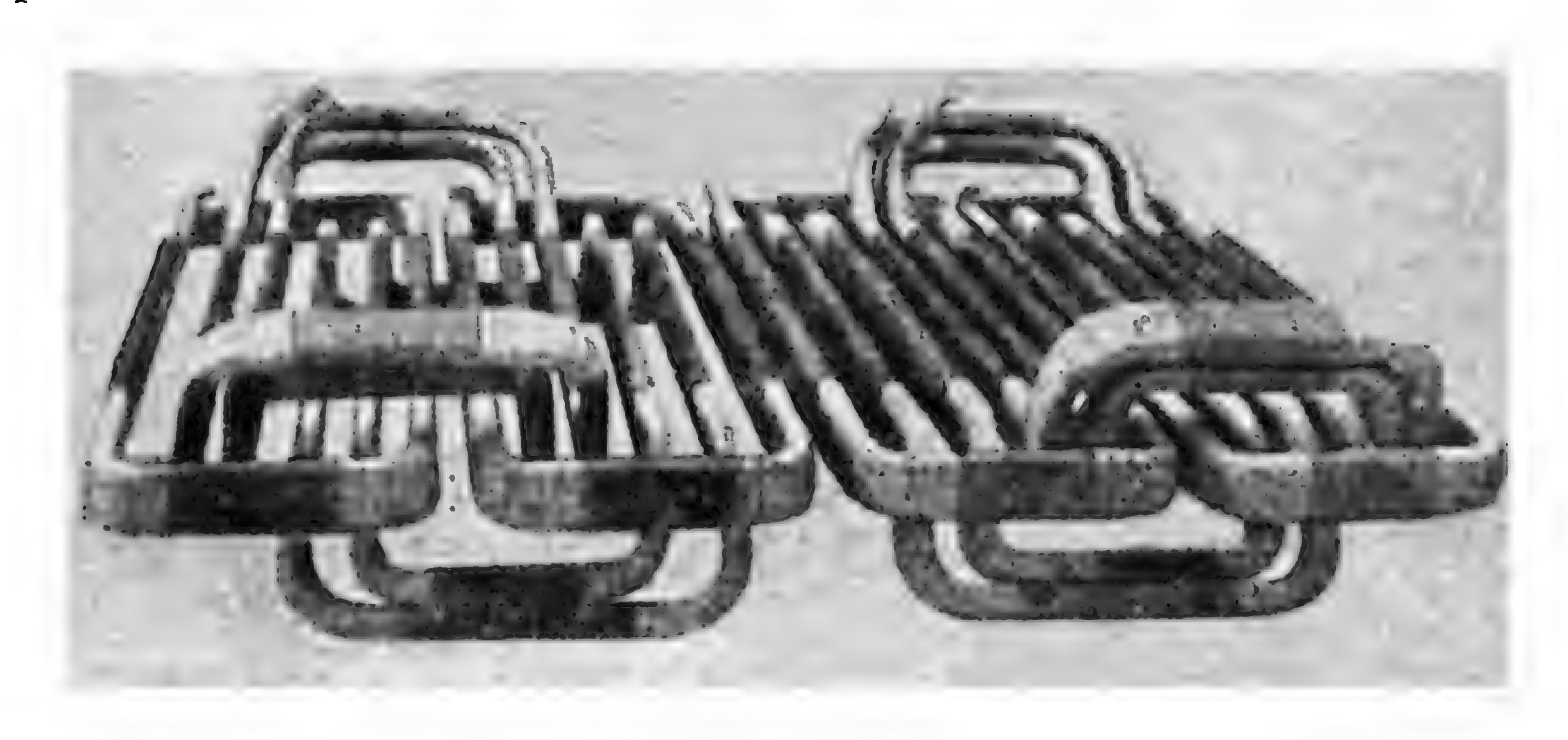


Рис. 207. Расположение лобовых частей однослойной обмотки.

После намотки катушки лобовая часть изолируется при напряжениях до 500 V одним слоем тафтяной ленты в полнахлестки (см. рис. 209, *б*), а при напряжениях 3000—3150 V — одним слоем лаки-

рованной ленты и поверх нее одним слоем тафтяной ленты, как показано на рис. 210, *б*.

В местах перехода от пазовой к лобовой части накладываются дополнительно 1 или 2 слоя такой же изоляции. Лобовые части каждой катушечной группы скрепляются тафтяной лентой или крепким (английским) шнуром, причем между лобовыми частями каждых двух или трех катушек помещается прессшпановая прокладка, толщиной около 5 *мм*, как показано на рис. 205.

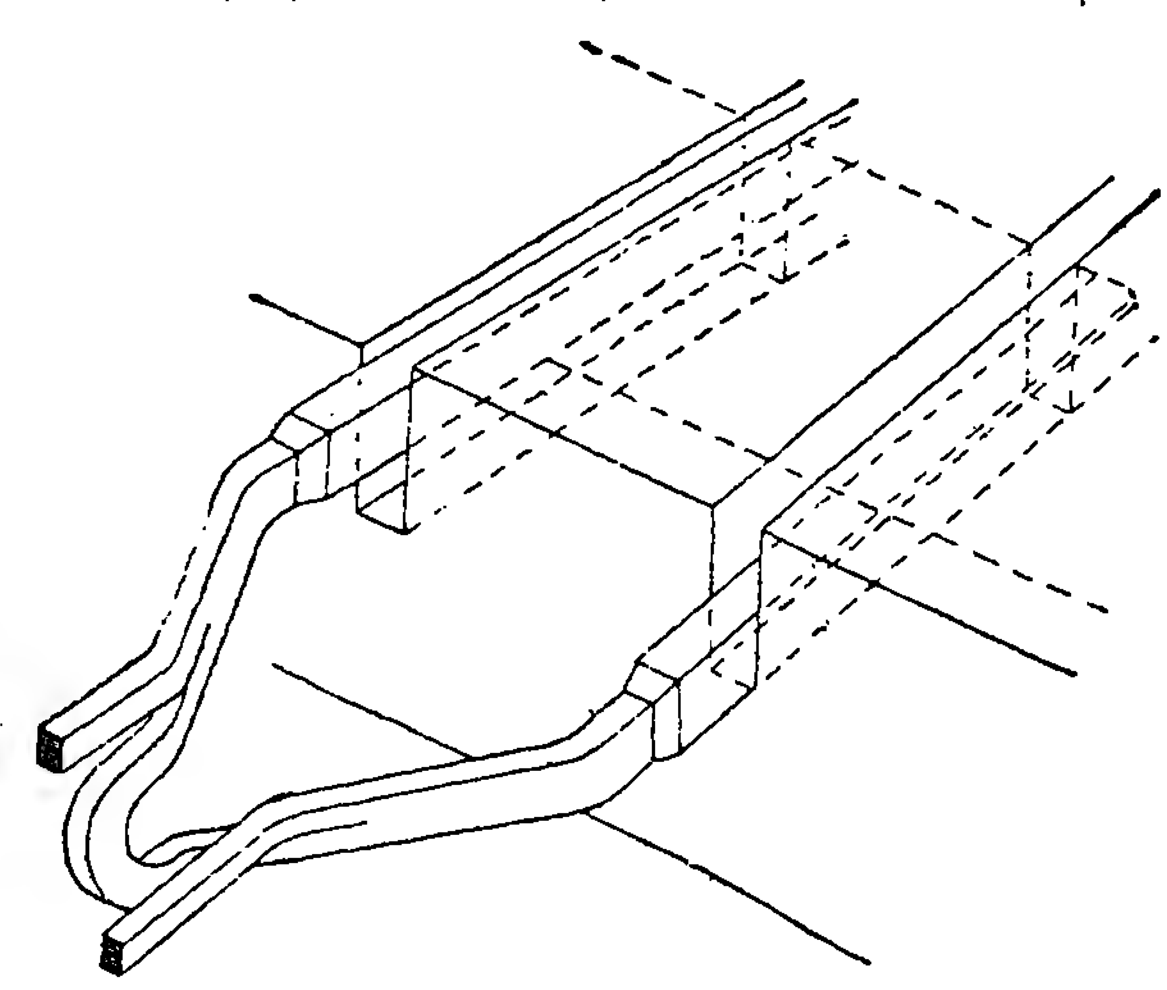
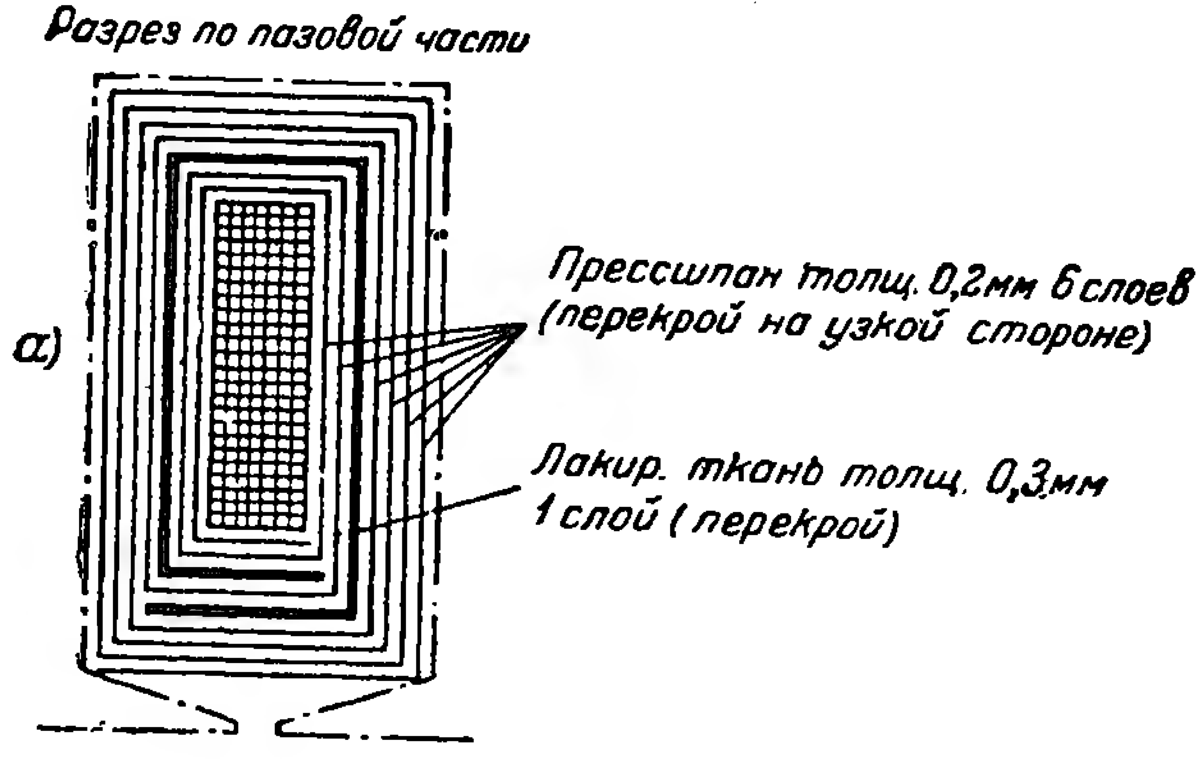


Рис. 208. Катушки двухслойной обмотки.

Б. Изоляция рассыпной обмотки

В этом случае пазы статорного железа тоже изолируются заранее до вкладки обмотки. Изоляция паза состоит из 3—4 слоев пропитанного в льняном масле прессшпана, толщиной 0,2 *мм*, или 2—3 слоев пропитанного прессшпана и 1—2 слоев лакоткани. При двухслойной обмотке между сторонами двух катушек в пазу помещается прокладка из пропитанного прессшпана. Лобовые части однослойной рассыпной обмотки не изолируются. При двухслойной обмотке между лобовыми частями верхнего и нижнего слоев помещается прокладка из пропитанной в льняном масле ткани.

Пазовая изоляция однослойной и двухслойной обмоток показана на рис. 211.



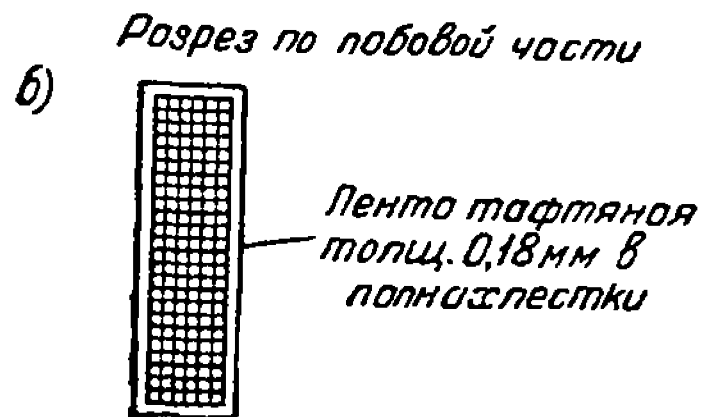


Рис. 209. Изоляция протяжной обмотки для напряжения до 500 V.

В. Изоляция обмоток для полуоткрытых пазов

Пазовая изоляция этого рода обмотки аналогична изоляции рассыпной обмотки и состоит из двух слоев пропитанного прессшпана и одного-двух слоев лакоткани.

Отдельные полукатушки обматывают для скрепления одним слоем миткалевой ленты, накладываемой впритык.

Между полукатушками одного слоя и между верхним и нижним слоями кладутся прокладки из прессшпана, толщиной 0,2—0,5 *мм*. Разрез паза с описанной изоляцией показан на рис. 212. В лобовой части, за исключением скрепляющей миткалевой ленты, никакой изоляции не применяют

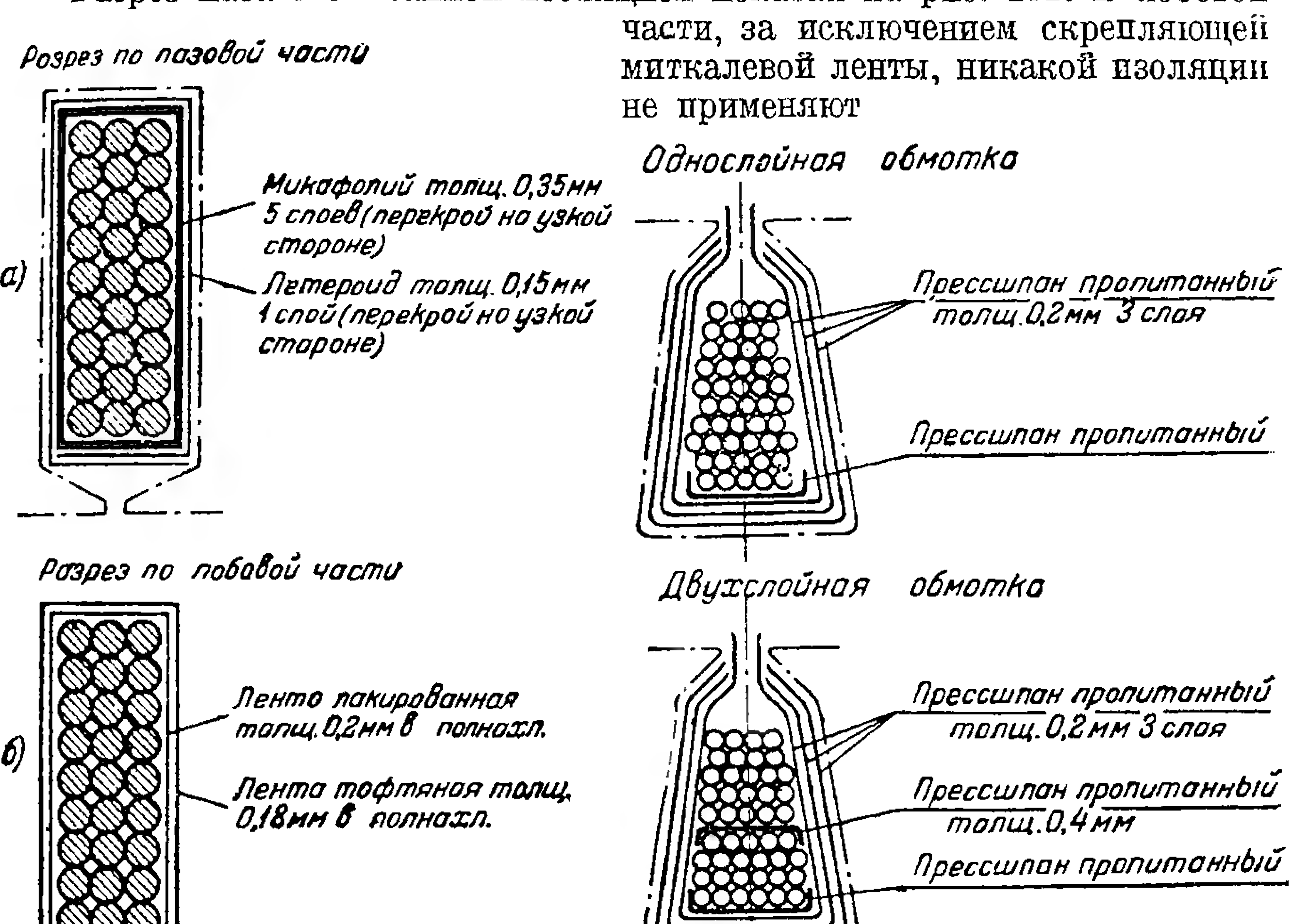


Рис. 210. Изоляция протяжной обмотки для напряжений 3000—3150V.

Рис. 211. Изоляция рассыпной обмотки однослойной и двухслойной.

Г. Изоляция обмоток для открытых пазов

Форма паза позволяет в этом случае укладывать катушки в паз в изолированном виде. Это дает возможность получить весьма надежную изоляцию при высоких напряжениях, так как она может быть изготовлена вне паза, непосредственно на катушке.

а. Изоляция для напряжений до 500 V

До укладки обмотки в пазы закладывается гильза из двух-трех слоев пропитанного прессшпана, толщиной 0,2—0,3 *мм*, из одного-двух слоев прессшпана и одного слоя лакированной ткани. Сама ка-

тушка до укладки изолируется в пазовой части одним слоем тафтяной ленты в полнахлестки, а в лобовой части — в $^{3}/_{4}$ нахлестки.

Между отдельными витками катушки, расположенными в одном ряду (вертикальном — при продольной укладке или горизонтальном — при поперечной укладке), никакой добавочной изоляции, кроме собственной изоляции проводников, не требуется. Между рядами витков прокладывается прошеллаченная бумага. На рис. 213 показана изоляция двухслойной обмотки для напряжения до 500 V. Как видно из рисунка, между сторонами катушек кладется прокладка из пропитанного прессшпана, толщиной 1—2 *мм*. Выводные концы катушек изолируются обыкновенно лакированной лентой и поверх нее тафтяной лентой в полнахлестки.

Розрез по пазовой части

Прокладка из прессшпана пропитанного толщ. 0,2мм

Лента миткалевая впритык толщ 0,15мм

Прокладка из прессшпана толщ. 0,5мм

Прессшпан пропитанный толщ. 0,20мм в 1 слой

Лакоткань черная толщ. 0,3мм в 1 слой

Прессшпан пропитанный толщ 0,10мм впритык

Прокладка из прессшпана толщ. 0,2мм

Рис. 212. Изоляция обмоток для полуоткрытых пазов.

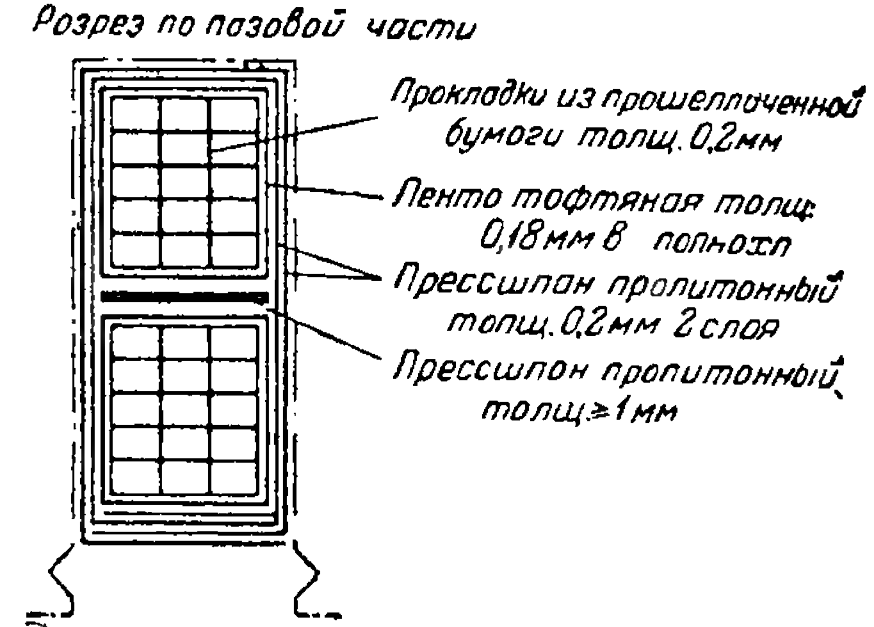


Рис. 213. Изоляция двухслойной обмотки для напряжений до 500 V.

б. *Изоляция для напряжений выше 500* V

Здесь применяют два совершенно различных вида изоляции — гильзовую и непрерывную. Первую применяют как при однослойной, так и при двухслойной обмотке, вторую — только при двухслойной.

Гильзовая изоляция. Особенность этой изоляции по сравнению с рассмотренными выше заключается в том, что вся изоляция накладывается непосредственно на катушку, которая затем укладывается в неизолированный паз. Как уже было сказано, такая изоляция может быть выполнена очень надежно и по настоящее время имеет большое распространение как в СССР, так и в Западной Европе.

При гильзовой изоляции пазовая и лобовая части изолируются различно. В пазовой части изоляция представляет собой гильзу, состоящую из нескольких слоев спрессованного микафолия. До наложения гильзы катушки для напряжения свыше 3150 V, как правило, компаундируются. Толщина гильзы, а следовательно и число слоев микафолия, зависит от напряжения машины. При напряжении до 3150 V включительно гильза состоит из 5 слоев микафолия, толщиной 0,25 *мм*; при напряжении до 6300 V включительно — из 9 слоев.

Поверх микафолия для его предохранения от механических повре-

ждений накладывается один слой летероида, толщиной 0,15 *мм*. Таким образом общая односторонняя толщина гильзы при 3150 V — 1,5 *мм*, а при 6300 V — 2,5 *мм*.

Изоляция между витками катушки выполняется из миканита или микаленты. При напряжениях до 3150 V изоляция прокладывается между рядами витков, а при напряжениях до 6300 V изолируется каждый виток отдельно. Толщина междувитковой изоляции и в том и в другом случае берется около 0,2 *мм*.

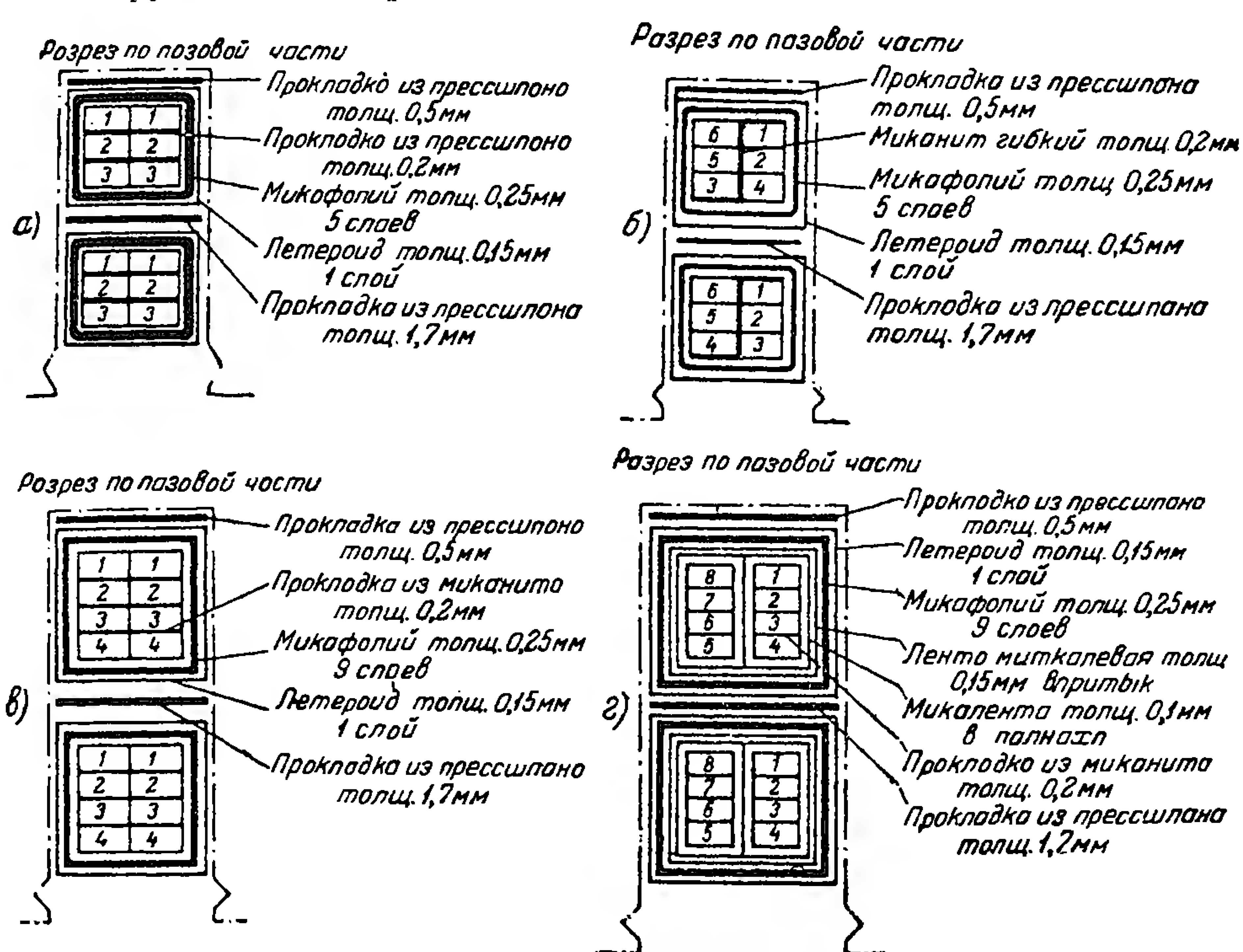


Рис. 214. Гильзовая изоляция.

а) для напряжений 3000—3150 V один виток по ширине катушки; *б)* для напряжений 3000—3150 V два витка по ширине катушки; *в)* для напряжений 6000—6300 V один виток по ширине катушки; *г)* для напряжений 6000—6300 V два витка по ширине катушки.

На рис. 214 показаны разрезы пазов с гильзовой изоляцией. Между сторонами катушек при двухслойной обмотке кладется прокладка из прессшпана, толщиной 1—2 *мм*.

В лобовой части изоляция состоит из нескольких слоев лакированной ленты, толщиной 0,2 *мм*, и одного слоя тафтяной ленты в полнахлестки. Лакированная лента накладывается для напряжений до 3150 V в три слоя, а для напряжений до 6300 V — в 5 слоев.

Изоляция между рядами витков при напряжениях от 3150 до 6300 V в лобовой части делается обычно такой же толщины, как и в пазовой, но вместо миканитовых прокладок витки через один обматываются одним рядом микаленты, толщиной 0,13 *мм*, в полнахлестки.

При напряжениях до 3150 V ряды витков через один изолируются одним рядом миткалевой ленты в полнахлестки. Весьма ответственным местом при гильзовой изоляции является стык пазовой и лобовой изоляций катушки. Как показал многолетний опыт, этот переход является самым слабым местом. Как при заводских испытаниях, так и при эксплоатации машин именно здесь наиболее часто происходит пробой изоляции. Поэтому конструкция этого стыка подвергалась многократным усовершенствованиям. Наиболее надежным способом выполнения перехода от пазовой к лобовой изоляции может в настоящее время считаться следующий: между микафолиевой гильзой пазовой части и лакотканевой изоляцией лобовой части, на всей длине перегиба, катушка изолируется несколькими слоями микаленты, толщиной 0,15 *мм*. Сопряжение слоев микаленты с изоляцией пазовой и лобовой частей показано на рис. 215.

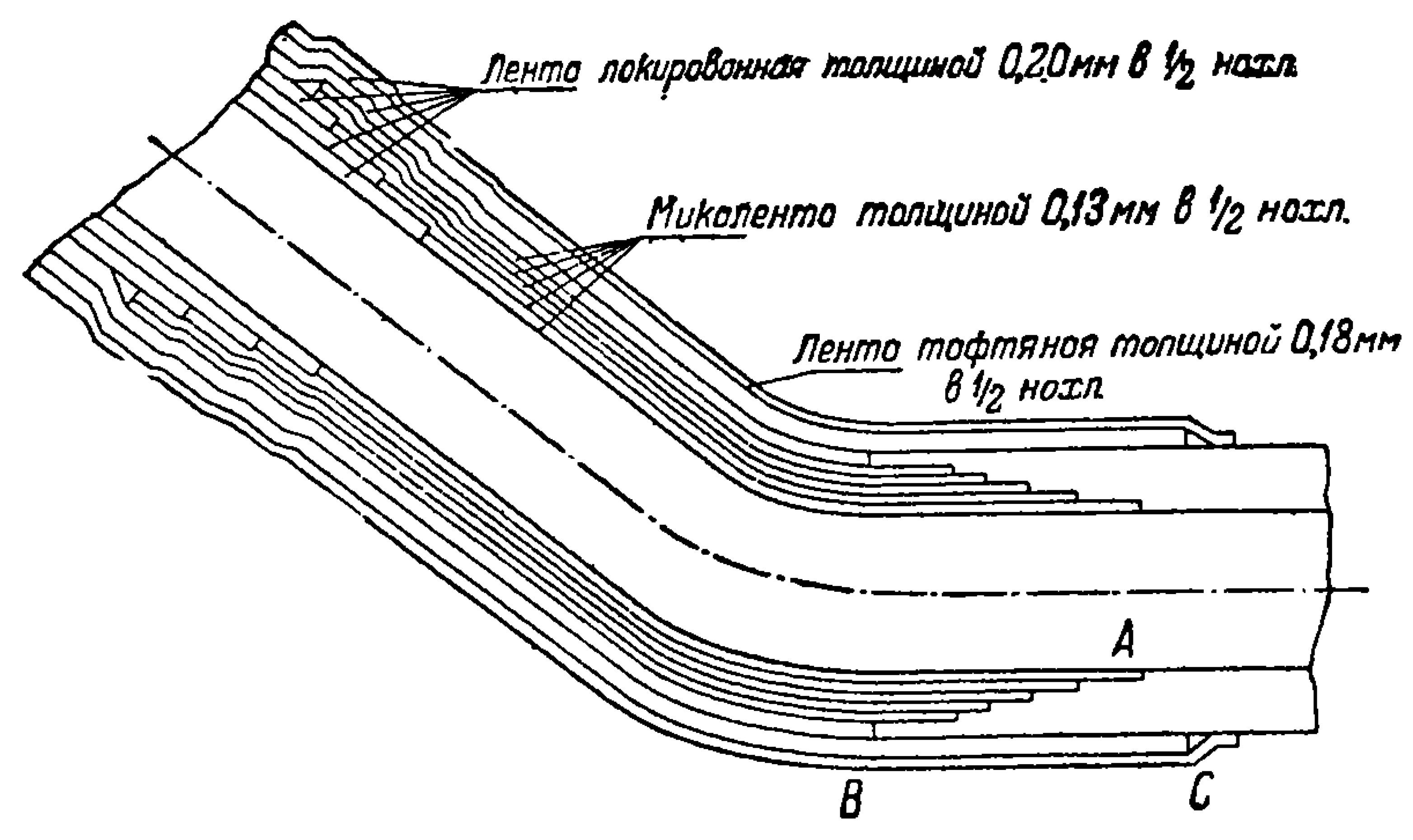


Рис. 215. Изоляция перехода от пазовой к лобовой части.

Как видно из рис. 215, переход от пазовой к лобовой части выполняется постепенно. Наиболее ответственным является переход к пазовой части, так как она расположена ближе к железу статора. Здесь наиболее возможен электрический разряд между обмоткой и корпусом по стыку пазовой и переходной (микалента) изоляций. Возможный путь разряда обозначен на рис. 215 буквами *A*, *B* и *C*. Для того чтобы удлинить этот путь, стык изоляции делается на конус таким образом, что ряды переходной изоляции, по мере их наложения на катушку, удаляются от железа статора. То же самое относится к переходу и в лобовой части. Такое выполнение стыка получило название «обратного конуса». [1] Переходная часть изоляции, так же как и лобовая часть, обматывается тафтяной лентой в полнахлестки. Количество слоев микаленты в переходной части для напряжений до 3150 V равно трем, а для напряжений до 6300 V — пяти.

[1] В отличие от прежде применявшегося так называемого «прямого конуса», имевшего противоположное направление, что давало более короткий путь для электрического разряда.

Выводные концы катушек изолируются лакированной лентой от двух до четырех слоев, в зависимости от напряжения, и поверх нее обматываются тафтяной лентой.

Гильзовая изоляция, хотя и может быть выполнена весьма надежно, не свободна от целого ряда недостатков, из которых основным является соединение в ней изоляции класса В и класса А. К классу В принадлежит пазовая изоляция (микафолий), к классу А — лобовая изоляция (лакоткань). Благодаря этому вся изоляция, несмотря на применение в наиболее ответственной ее части микафолия, должна быть отнесена к классу А, и следовательно температура обмотки не может превышать 95° С. Другими словами, преимущества слюдяной гильзы в отношении ее теплостойкости не могут быть использованы полностью.

Другим недостатком гильзовой изоляции является сложность выполнения перехода от пазовой к лобовой части, так как это, во-первых, удорожает обмотку, а во-вторых, при недостаточно тщательном выполнении может случиться пробой.

Кроме того, микафолиевая гильза подвержена разбуханию с течением времени, а также при нагревании. Это сильно затрудняет ремонт обмотки. Благодаря трудности вытаскивания катушки из паза изоляция ее при этом легко может быть повреждена. Этот недостаток в особенности сказывается при двухслойных обмотках, в которых при необходимости извлечения одной катушки приходится подымать все катушки, лежащие в пределах целого шага.

Однако вредность разбухания заключается не только в этом. При разбухании происходит расслоение гильзы, между слоями микафолия образуются зазоры, в которые проникает воздух. Такие воздушные прослойки сильно сокращают срок службы изоляции.

К числу недостатков гильзовой изоляции следует отнести ее жесткость и хрупкость в холодном состоянии. Поэтому даже при небольших деформациях, неизбежных при укладке катушек, изоляция их легко ломается. Предварительное прогревание перед укладкой здесь не может быть применено, так как микафолиевая гильза, как указывалось выше, при этом разбухает. Лакированная лента, применяемая в изоляции лобовой части, с течением времени становится хрупкой и легко ломается, что, конечно, также является существенным отрицательным свойством описанной изоляции.

Непрерывная изоляция. В отличие от западноевропейских стран, где главным образом распространена гильзовая изоляция, сначала в Америке, а потом и в СССР получила распространение изоляция, известная под наименованием непрерывной. Сущность ее заключается в том, что как пазовая, так и лобовая часть изолируются одними материалами, причем переход от пазовой к лобовой части производится постепенно. По этому способу изолировка катушки производится путем обертывания ее изоляционной лентой как в пазовой, так и в лобовой части, причем, как правило, разница заключается только в том, что в лобовой части на один слой ленты меньше, чем в пазовой.

Непрерывная изоляция может быть выполнена по классу А или по классу В. Обыкновенно изоляция класса В применяется в крупных ответственных машинах или при напряжениях свыше 3150 V. Для напряжений до 3150 V, а также для машин небольших мощностей для

напряжений до 6300 V может применяться непрерывная изоляция класса А. Как уже было сказано, непрерывная изоляция применяется при двухслойных обмотках.

Ввиду того, что непрерывная изоляция класса А имеет незначительное применение в СССР, мы ограничимся только ее общей характеристикой.

Непрерывная изоляция класса А. Катушки по всей длине изолируются несколькими слоями черной лакированной ленты в полнахлестки. Поверх этой изоляции катушка обматывается

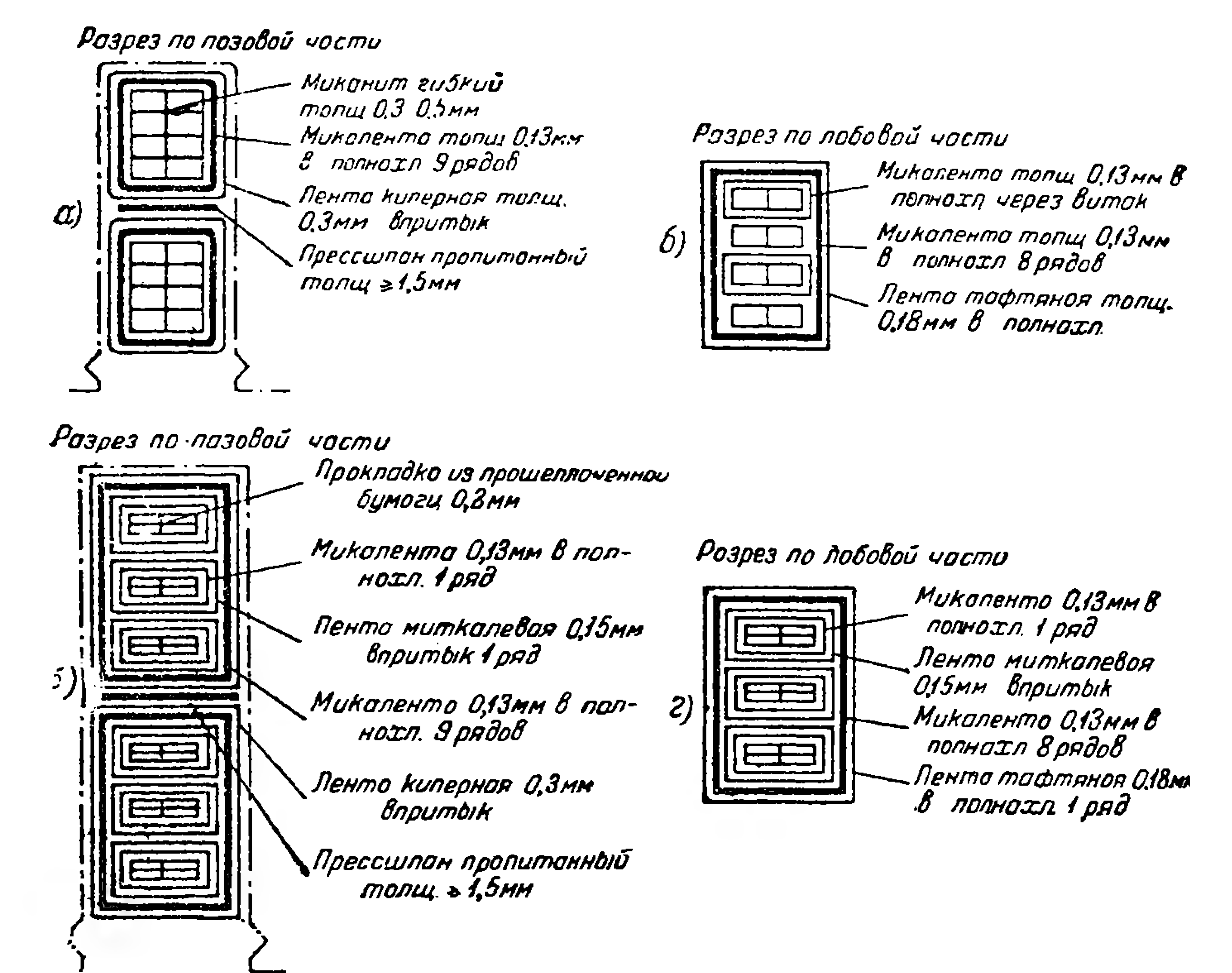


Рис. 216. Непрерывная изоляция класса В для напряжения 6000—6300 V.

одним слоем тафтяной или миткалевой ленты в пазовой части впритык, а в лобовой — в полнахлестки. Часть слоев черной ленты иногда заменяют соответствующим числом слоев светлой ленты.

При применении непрерывной изоляции для напряжений до 500 V общая толщина в пазовой части от 1,15 до 1,5 *мм*, для напряжения от 600 до 3000 V — около 2 *мм*, при напряжениях до 6300 V — от 3 до 3,5 *мм*. В лобовой части толщина изоляции меньше на толщину одного слоя ленты. До наложения хлопчатобумажной ленты катушки несколько раз пропитываются в асфальтовом лаке.

Изоляция между витками в зависимости от междувиткового напряжения либо может ограничиваться собственной изоляцией проводников

(ПБД) либо, при более высоких напряжениях, дополнительно накладывается хлопчатобумажная лента или микалента.

Непрерывная изоляция класса В. Общая изоляция катушки состоит из нескольких слоев микаленты, толщиной 0,13 *мм*, в полнахлестки по всей катушке. Поверх нее пазовая часть обматывается киперной лентой, толщиной 0,3 *мм*, впритык. Лобовая часть и выводные концы обматываются одним слоем тафтяной ленты в полнахлестки.

При напряжениях до 3150 V пазовая часть обматывается 5 слоями микаленты, лобовая — 4 слоями, а выводные концы — 3 слоями. При напряжениях до 6300 V в пазовой части — 9 слоев микаленты, в лобовой — 8 слоев, а на выводных концах — 5 слоев.

Изоляция между витками выполняется двумя способами. По первому способу между витками в пазовой части кладутся миканитовые прокладки, толщиной от 0,3 до 0,5 *мм*, и в лобовой части витки через один изолируются одним слоем микаленты в полнахлестки. По второму способу в пазовой части каждый виток изолируется одним слоем микаленты в полнахлестки и поверх нее миткалевой лентой впритык. Между вертикальными рядами проводников ставятся прокладки из прошеллаченной бумаги, толщиной 0,2 *мм*. Назначение этих прокладок — скреплять (склеивать) проводники между собой. Изоляция витков лобовой части такая же, как и в пазовой, за исключением прокладок из прошеллаченной бумаги, которые здесь отсутствуют. На рис. 216 показана непрерывная изоляция для 6300 V.

Особо остановимся на собственной изоляции проводников катушек с непрерывной изоляцией класса В. Требованиям теплостойкости здесь в полной мере отвечает так называемая асбестовая изоляция, состоящая из асбестовой массы, которой покрываются проводники. Проводники с асбестовой изоляцией применяются при изготовлении катушек для наиболее мощных машин — главным образом турбо- и гидрогенераторов. Стоимость обмотки с такой изоляцией относительно велика. Поэтому в нормальных машинах обычно не применяют проводников с такой изоляцией.

5. ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАЗМЕРОВ КАТУШЕК ОДНОСЛОЙНЫХ ОБМОТОК

В однослойных обмотках определение размеров катушки является несложной задачей. Здесь важно правильно выбрать расстояния между лобовыми частями отдельных катушек и расстояния от катушек до корпуса статора, щитов и других металлических частей, окружающих лобовую часть катушек.

Эти расстояния зависят от напряжения машины. На рис. 205 и 206 показана лобовая часть катушки. Буквами обозначены расстояния как между катушками, так и от катушек до корпуса машины. Кроме того, указано расположение междуполюсных соединений, которые могут быть как сверху катушек, так и сбоку, в зависимости от того, где больше свободного пространства и наиболее удобно располагать эти соединения. Здесь же указаны расстояния этих соединений до катушек обмотки и до корпуса машины. Буквами *г* и *д* обозначены размеры сечения катушечных групп в лобовой части. Буквами L_1, L_2, L_3 обозначены длины прямых частей отдельных катушек. Буквами l_1, l_2, l_3, l_4 обозначены расстояния между катушечными сторонами каждой катушки. На рис. 205 взяты четыре катушки в катушечной группе, что соответствует числу пазов на полюс и фазу $q = 4$. Буквами R, R_1, R_2 обозначены радиусы изгиба катушечных групп в лобовой части. В табл. 11 даны расстояния (см. рис. 206), которые необходимо выдерживать в зависимости от напряжения машины.

Таблица 11

Рабочее напряжение машины в вольтах	Размеры в *мм*					
	а	*б*	*в*	a_1	$б_1$	*г*
до 500	15	15	15	5	5	10–20
до 3150	20	30	45			
до 6300	30	40	60		10	

Все расстояния, указанные в таблице, считаются между неизолированной медью катушек и соединений и металлическими частями корпуса машины; эти расстояния являются минимально допустимыми.

При промежуточных напряжениях эти расстояния можно брать несколько меньшими верхнего предела в соответствии с напряжением машины.

Если при размере *в*, взятом по таблице, размер *б* окажется меньшим, чем указано в таблице, размер *в* должен быть соответственно увеличен.

6. ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАЗМЕРОВ ПОПЕРЕЧНОГО СЕЧЕНИЯ КАТУШКИ

Эти размеры по ширине и высоте катушки определяются суммированием размеров меди и изоляции. В лобовой части необходимо учитывать разбухание при пропитке. Увеличение размеров поперечного сечения после пропитки может быть определено по тем же формулам, как и для якорей машин постоянного тока.

Определение ширины катушки. Ширина катушки, или расстояние между двумя катушечными сторонами при однослойных обмотках, различна для различных катушек одной и той же катушечной группы. Эта ширина определяется как длина хорды, заключенной между двумя сторонами катушки, по следующей формуле:

$$l = 2R \cdot \sin \frac{180\,(2q + 2n - 1)}{Z}, \qquad (63)$$

где R — внутренний радиус катушек без изоляции;
q — число пазов на полюс и фазу;
n — порядковый номер катушки в группе, если считать внутреннюю катушку первой по порядку;
Z — число пазов статора.

Определение длины прямой части катушки. В зависимости от расположения лобовых частей все катушки могут быть по длине прямой части разбиты на две или три группы. При расположении лобовых частей в двух рядах, как показано на рис. 205, имеем катушки двух различных длин прямой части. При расположении лобовых частей согласно рис. 206 имеем три различных длины прямой части: длина прямой части катушек внутреннего ряда

$$L_1 = l_a + 2b; \qquad (64)$$

длина прямой части среднего ряда

$$L_2 = L_1 + 2\,(r + г) \qquad (65)$$

длина прямой части наружного ряда

$$L_3 = L_2 + 2\,(г + a). \qquad (66)$$

Определение размеров лобовой части катушки. После того как длина прямой части катушки определена и выбраны радиусы закругления r по табл. 11, остается определить радиусы R, по которым изгибается лобовая часть катушечной группы, как показано на рис. 205 и 206:

$$R_1 = R + г + a; \quad (67)$$

$$R_2 = R_1 + д. \quad (68)$$

Когда число пазов на полюс и фазу больше трех, тогда, из соображений лучшего охлаждения лобовых частей, их разделяют между собой дистанционными прокладками из прессшпана толщиной 5 *мм*, как показано на рис. 205, *а* и *б*. Такие же прокладки ставятся между каждой катушкой при напряжениях 6000 V и выше. В этом случае

$$R_2 = R_1 + д + 5y, \quad (69)$$

где y — число прокладок. Радиусы r_1, r_2, r_3 (рис. 205) берутся больше r для получения плавного закругления.

7. ПРИМЕР ОПРЕДЕЛЕНИЯ РАЗМЕРОВ КАТУШЕК ОДНОСЛОЙНОЙ ОБМОТКИ

Данные обмотки

Число пазов	$Z = 144$
Число пазов на полюс и фазу	$q = 4$
Число проводов в пазу . .	$= 26$
Размеры паза	13,5×52/55 (рис. 217)
Размеры изолированного проводника	9,8×1,85 *мм*
Внутренний диаметр статора	1003,5 *мм*
Напряжение	3000 V
Ширина железа статора . .	$l_a = 400$ *мм*

Обмотка выполняется впротяжку

Определение размеров поперечного сечения катушки в пазовой части

Размер по ширине

Ширина меди	9,8 *мм*
Толщина гильзы (5 слоев микафолия, толщиной 0,3 *мм*, и 1 слой летероида, толщиной 0,15 *мм*)	2·5·0,3+2·1·0,15=3,3 *мм*
Полная ширина . . .	13,1 *мм*

Размер по высоте

Высота меди	26·1,85 = 48,1 *мм*
Толщина гильзы	3,3 *мм*
Полная высота	51,4 „

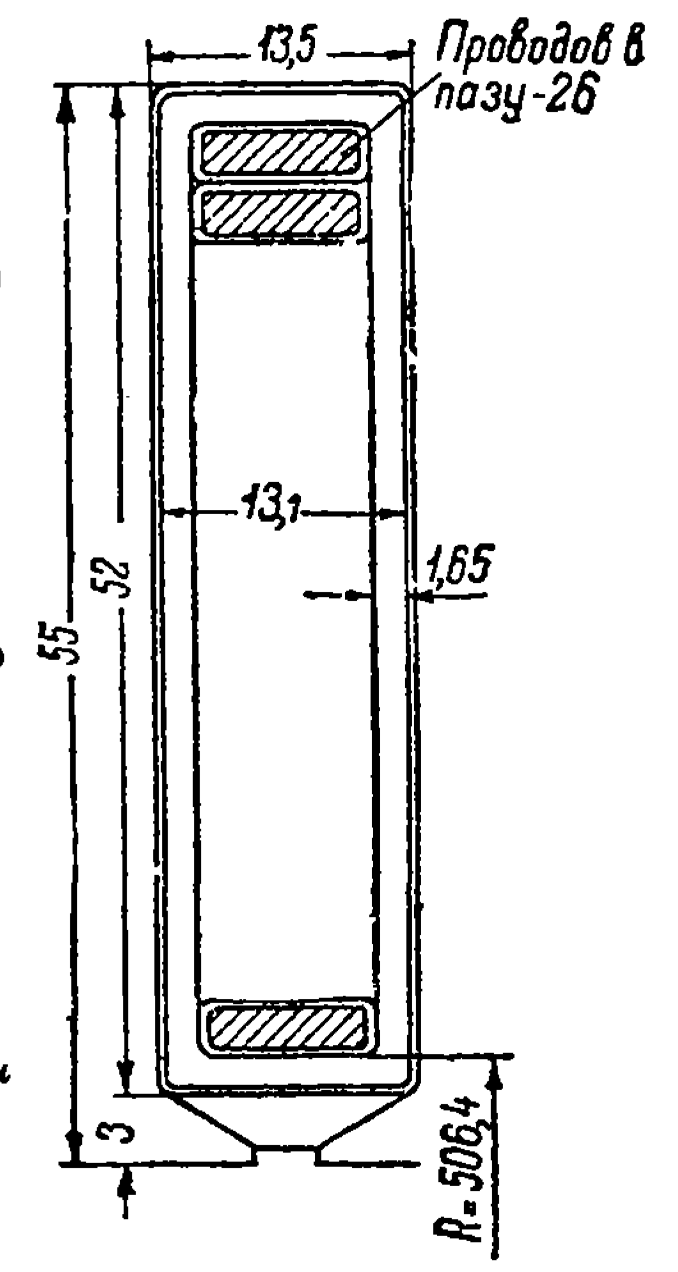


Рис. 217. Поперечное сечение катушки в пазовой части.

Определение размеров поперечного сечения катушки в лобовой части

В лобовой части следует определить размеры поперечного сечения катушечной группы. При числе пазов на полюс и фазу $q = 4$ катушечная группа состоит из четырех катушек. Между каждыми двумя катушками кладем прокладку из прессшпана, толщиной 5 *мм*.

Таким образом размер поперечного сечения катушечной группы по ширине (размер $д$ на рис. 206) складывается из ширины четырех катушек плюс толщина прокладок 5 *мм*.

Ширина каждой катушки

Ширина меди	9,8 *мм*
Толщина лакированной ленты (1 слой, толщиной 0,2 *мм*, в полнахлестки) .	$0{,}2 \cdot 2 \cdot 2 = 0{,}8$ *мм*
Толщина тафтяной ленты (1 слой, толщиной 0,18 *мм*, в полнахлестки) . .	$0{,}18 \cdot 2 \cdot 2 = 0{,}72$ *мм*
Разбухание от пропитки	$0{,}05 \cdot 1 + 0{,}2 = 0{,}25$ *мм*
Полная ширина катушки	$11{,}57 \approx 11{,}6$ *мм*

Ширина катушечной группы

$$\partial = 4 \cdot 11{,}6 + 5 = 51{,}4 \text{ мм} \approx 52 \text{ мм}.$$

Размер катушечной группы по высоте (размер *г* на рис. 206) равен высоте одной катушки.

Размер меди	$26 \times 1{,}85 = 48{,}1$ *мм*
Толщина лакированной ленты	0,8 *мм*
Толщина тафтяной ленты	0,72 „
Разбухание от пропитки	$0{,}05 \cdot 26 = 1{,}3$ *мм*

$$г = 48{,}1 + 0{,}8 + 0{,}72 + 1{,}3 = 50{,}92 \approx 51 \text{ мм}.$$

Определение расстояния между сторонами катушки

Первая (внутренняя) катушка [по ф-ле (63)]

$$l_1 = 2R \cdot \sin \frac{180\,(2q + 2n - 1)}{Z};$$

$$R = \frac{D_a}{2} + 3 + 1{,}65 = \frac{1003{,}5}{2} + 3 + 1{,}65 = 506{,}4 \text{ мм};$$

$$l_1 = 2 \cdot 506{,}4 \cdot \sin \frac{180\,(2 \cdot 4 + 2 \cdot 1 - 1)}{144} = 2 \cdot 506{,}4 \sin 11°15' =$$

$$= 2 \cdot 506{,}4 \cdot 0{,}195 = 198 \text{ мм}.$$

Вторая катушка

$$l_2 = 2 \cdot 506{,}4 \cdot \sin \frac{180\,(2 \cdot 4 + 2 \cdot 2 - 1)}{144} = 2 \cdot 506{,}4 \cdot \sin 13°15' =$$

$$= 2 \cdot 506{,}4 \cdot 0{,}238 = 241 \text{ мм}.$$

Третья катушка

$$l_3 = 2 \cdot 506{,}4 \cdot \sin \frac{180\,(2 \cdot 4 + 2 \cdot 3 - 1)}{144} = 2 \cdot 506{,}4 \cdot \sin 16°15' =$$

$$= 2 \cdot 506{,}4 \cdot 0{,}280 = 284 \text{ мм}.$$

Четвертая катушка

$$l_4 = 2 \cdot 506{,}4 \cdot \sin \frac{180\,(2 \cdot 4 + 2 \cdot 4 - 1)}{144} = 2 \cdot 506{,}4 \sin 18°45 =$$

$$= 2 \cdot 506{,}4 \cdot 0{,}321 = 325 \text{ мм}.$$

Определение длины прямой части катушки

Длина прямой части внутренних катушек по ф-ле (64)

$$L_1 = l_a + 2b = 400 + 2 \cdot 45 = 490 \text{ мм},$$

где размер b взят из табл. 11 для напряжения 3000 V.

По ф-ле (65)

$$L_2 = L_1 + 2(r + e) = 490 + 2(15 + 51) = 622 \text{ мм},$$

где размер r взят из табл. 11.

Определение радиусов выгиба лобовой части катушечной группы

По ф-ле (67)

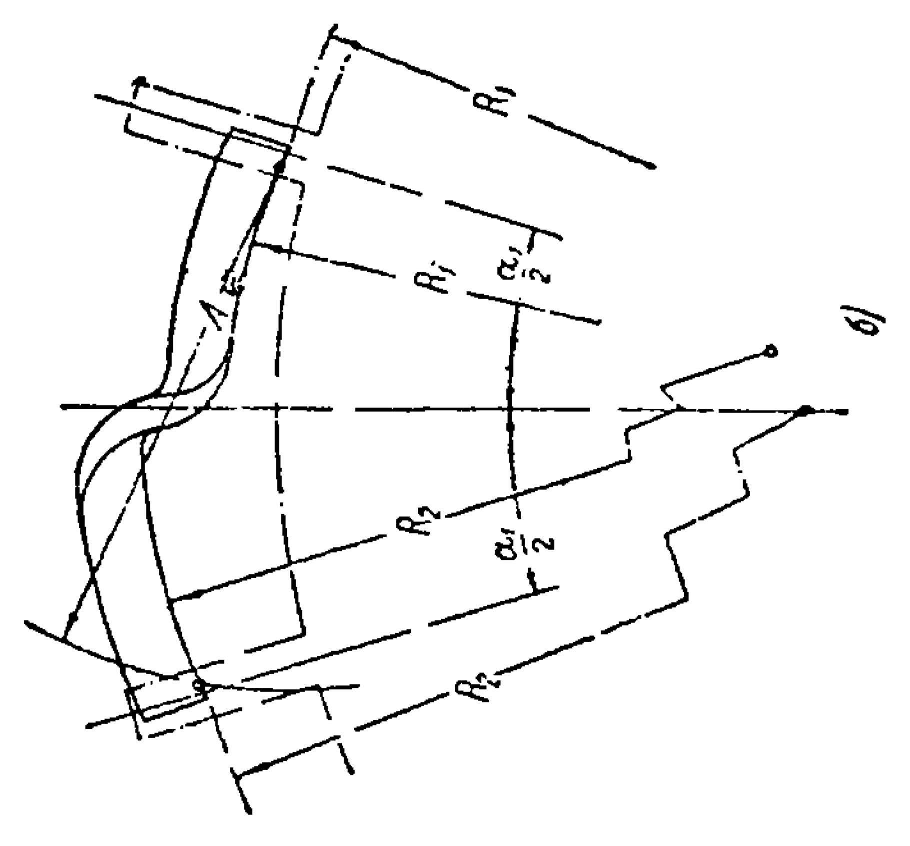
$$R_1 = R + e + a = 506{,}4 + 51 + 20 = 577{,}4 \text{ мм} \approx 580 \text{ мм}$$

По ф-ле (68)

$$R_2 = R_1 + \partial + 5 = 580 + 52 + 5 = 637 \text{ мм} \approx 640 \text{ мм}.$$

Радиусы закругления лобовых частей катушек:

$r = 15$ *мм*; $r_1 = 30$ *мм*; $r_2 = 45$ *мм*; $r_3 = 60$ *мм*.



8. ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАЗМЕРОВ КАТУШЕК ДВУХСЛОЙНЫХ ОБМОТОК [1]

Размеры поперечного сечения катушек определяются так же, как было изложено выше. При компаундированных катушках разбухание в лобовой части можно учитывать на основании практики, принимая одностороннюю толщину изоляции в 1,3 раза бо́льшую номинальной.

Длина прямой части катушки по ф-ле (64)

$$L_1 = l_a + 2b,$$

где l_a — ширина железа статора,

b — берется из табл. 12.

Расстояние между катушечными сторонами определяется по формуле:

$$l = \frac{\pi (R_1 + R_2)}{Z} y_Z, \quad (70)$$

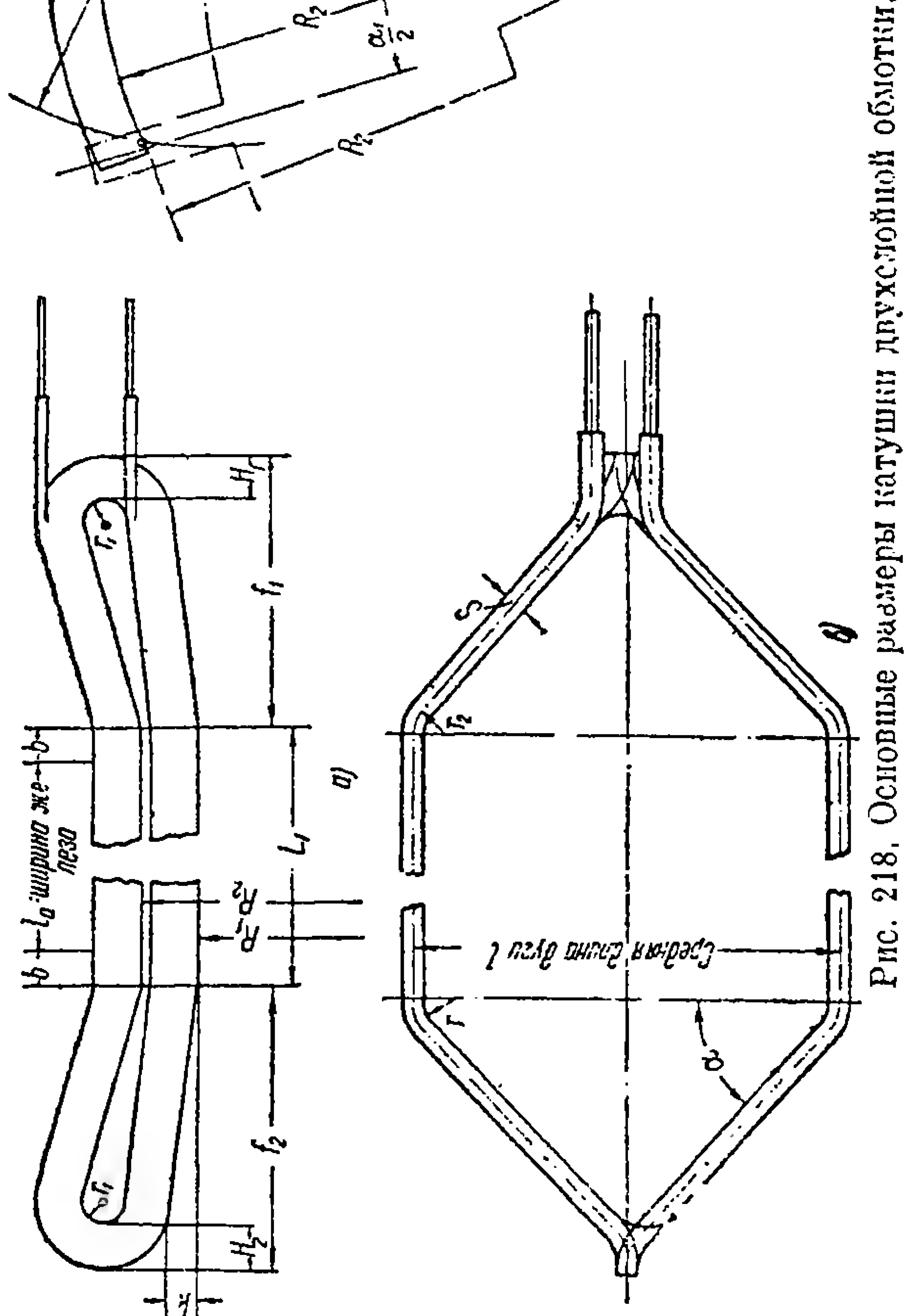


Рис. 218. Основные размеры катушки двухслойной обмотки.

---

[1] Нижеприведенный метод расчета принят на заводе «Электросила» им. С. М. Кирова.

где R_1 и R_2 показаны на рис. 218 и считаются до меди;

y_Z — шаг обмотки по пазам;

Z — число пазов статора.

Угол наклона лобовой части α, так же как в катушках якорей постоянного тока, зависит от расстояния между лобовыми частями двух соседних катушек d. Величина d выбирается в зависимости от напряжения и высоты катушки в лобовой части (см. табл. 13).

Таблица 12

Напряжение машины, V	b мм
до 500	20—25
3000—3150	35—40
6000—6300	50—55

Таблица 13

Напряжение машины, V	d в мм. Высота катушки: до 50 мм	d в мм. Высота катушки: свыше 50 мм
До 500	4,5	4,5
3000—3150	4,5	4,5
6000—6300	5,0	6,5

Угол α определяется по формуле:

$$\sin\alpha = \frac{s+d}{t}, \tag{71}$$

где s — ширина катушки в лобовой части с учетом разбухания;

t — пазовое деление:

$$t = \frac{2\pi\cdot R_1}{Z}.$$

Определив $\sin\alpha$, находим по таблицам тригонометрических величин угол α и округляем его в сторону увеличения до целого числа градусов.

Величина вылета лобовой части $f_{1,2}$ определяется по формуле:

$$f_{1,2} = \left[r_2\left(\frac{1}{\sin\alpha} - 1\right) + \frac{l}{2}\right]\operatorname{tg}\alpha + H_{1,2}, \tag{72}$$

где f_1 — вылет со стороны выводов катушки;

f_2 — вылет со стороны, противоположной выводам;

r_2 — радиус закругления при переходе от прямой части катушки к лобовой части по оси катушки:

$$r_2 = r + \frac{s}{2},$$

где r — радиус закругления до меди.

Для катушек, не имеющих изоляции из микаленты в лобовой части, $r = 25$ мм.

Для катушек с изоляцией в лобовой части из микаленты $r = 50$ мм.

H_1 — высота неизолированной катушки со стороны выводов;

H_2 — то же с противоположной стороны.

Внутренний радиус головки r_1 выбирается в зависимости от напряжения по табл. 14.

Таблица 14

Напряжение машины, V	r_1, мм
До 3150	12
6000—6300	15

Для того чтобы закончить определение формы и размеров катушки, необходимо определить величину, на которую отгибается лобовая часть по направле-

нию от оси машины, как показано на рис. 218, *а*. Этот отгиб делается для предохранения лобовой обмотки от повреждения при сборке или разборке машины, когда ротор заводится в статор.

Обычно лобовая часть отгибается на угол $\beta = 6 \div 8°$.

Тогда размер k определяется по формуле:

$$k = (f_2 - H_2 - r_1)\,\mathrm{tg}\,\beta. \qquad (73)$$

При установке станка для растяжения катушки необходимо определить размер A, указанный на рис. 218, *б*.

$$A = \sqrt{R_1^2 + R_2^2 - 2R_1R_2 \cdot \cos(a_1 - 2\gamma)}, \qquad (74)$$

где

$$a_1 = \frac{360}{Z}\, y_Z;$$

$$\sin\gamma = \frac{B}{2R_1};$$

B — ширина неизолированной катушки.

Междуполюсные и междукатушечные соединения не должны располагаться слишком близко как от лобовых частей обмотки, так и от корпуса машины. На рис. 219 показано расположение междукатушечных и междуполюсных соединений.

Наименьшие допустимые расстояния в зависимости от напряжения машины даны на табл. 15.

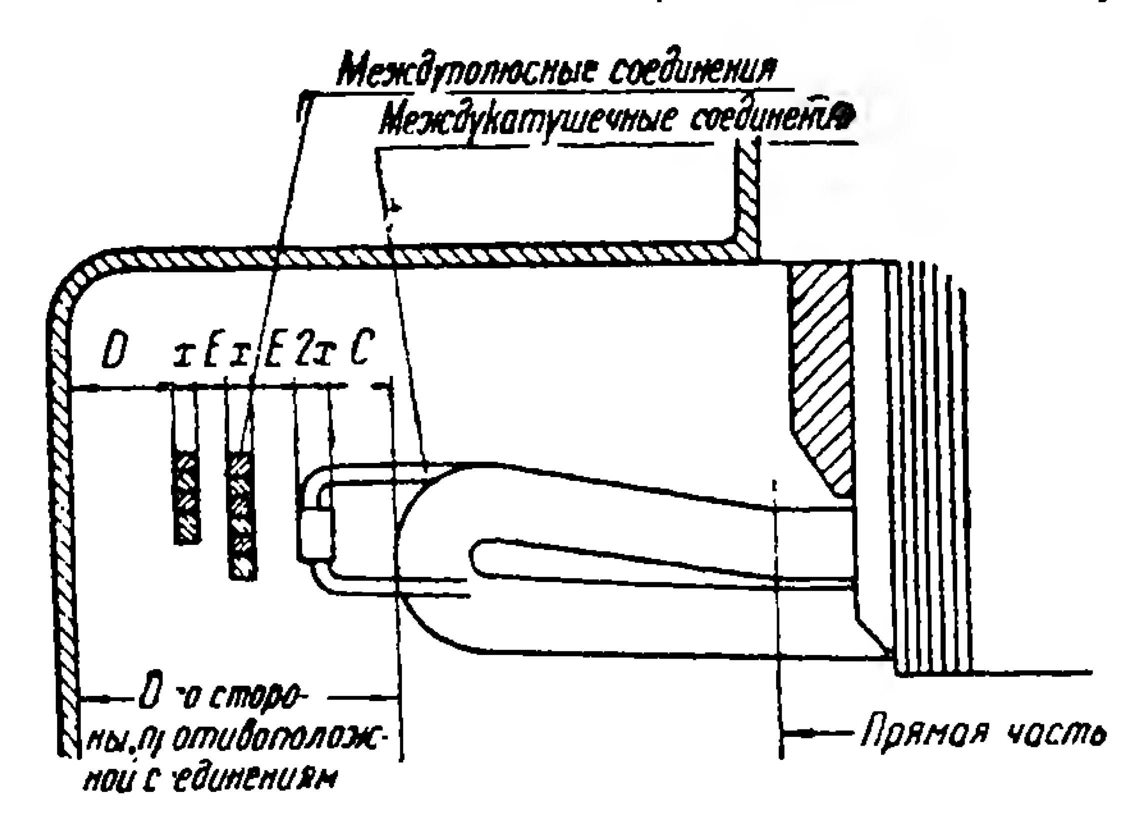


Рис. 219. Изоляционные расстояния при двухслойной обмотке.

В том случае, когда междуполюсные соединения расположены над лобовыми частями обмотки, расстояние D должно быть выдержано до верхней части щита или корпуса статора. Размер E в этом случае берется от самой катушки, а не от междукатушечных соединений.

Таблица 15

Напряжение машины, V	Размеры в *мм*		
	C	D	E
0—500	20	25	10
500—3150	25	30	15
3150—6300	25	40	20

На рис. 219 размер x указывает толщину витка. Приведенные в таблице расстояния, так же как и в однослойной обмотке, считаются от неизолированной меди катушек до соединений и от неизолированной меди до металлических частей корпуса машины. Табл. 15 применима к обмоткам как с гильзовой, так и с непрерывной изоляцией.

9. КРЕПЛЕНИЕ ЛОБОВЫХ ЧАСТЕЙ СТАТОРНЫХ ОБМОТОК

Лобовые части статорных обмоток должны быть закреплены для того, чтобы усилия, которые возникают при коротких замыканиях, не могли деформировать эти выступающие части катушек. Даже сравнительно небольшие деформации не могут быть здесь допущены, так как при этом легко может быть повреждена изоляция. Однако в машинах малых мощностей возможные усилия настолько невелики, что здесь обычно жесткости катушек достаточно для того, чтобы противостоять

этим усилиям. В более крупных машинах крепление лобовых частей необходимо. Конструкции этих креплений различны, в зависимости от рода обмотки.

В однослойных обмотках лобовые части крепятся при помощи гэтинаксовых планок и деревянных распорок, прикрепляемых к нажимным фланцам при помощи шпилек. Пример такого крепления показан на рис. 220. Такой тип крепления является наиболее распространенным для однослойных обмоток и применяется в тех случаях, когда возможные усилия при коротких замыканиях велики.

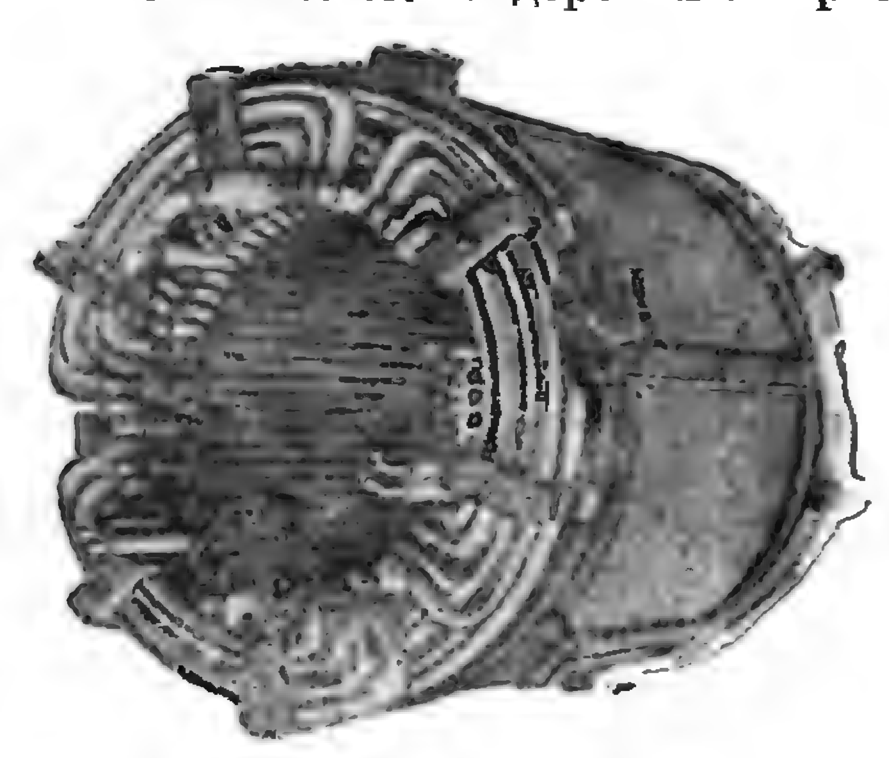


Рис. 220. Крепление лобовых частей однослойной обмотки.

В двухслойных обмотках лобовые части крепятся при помощи железных бандажных колец. Нормальный способ такого крепления показан на рис. 221.

Лобовые части катушек прикрепляются к кольцу английским шнуром. К кольцу в нескольких точках по окружности привариваются планки, при помощи которых оно крепится к статору шпильками. В небольших машинах часто кольцо к статору не крепится совсем. Кольцо и планки изолируются несколькими слоями ленты, в зависимости от напряжения машины. Для напряжений до 500 V изоляция кольца состоит из одного слоя киперной и двух слоев лакированной ленты, поверх которой накладывается еще один слой киперной ленты. Для напряжений от 500 до 3150 V кольцо изолируется тремя слоями лакированной и одним слоем киперной ленты. Для напряжений от 3150 V до 6300 V кольцо изолируется тремя рядами микаленты, четырьмя рядами лакированной и одним рядом киперной ленты. Между кольцом и катушками ставятся прокладки из прессшпана таким образом, чтобы нигде не было зазоров и катушки можно было плотно притянуть шнуром к кольцу.

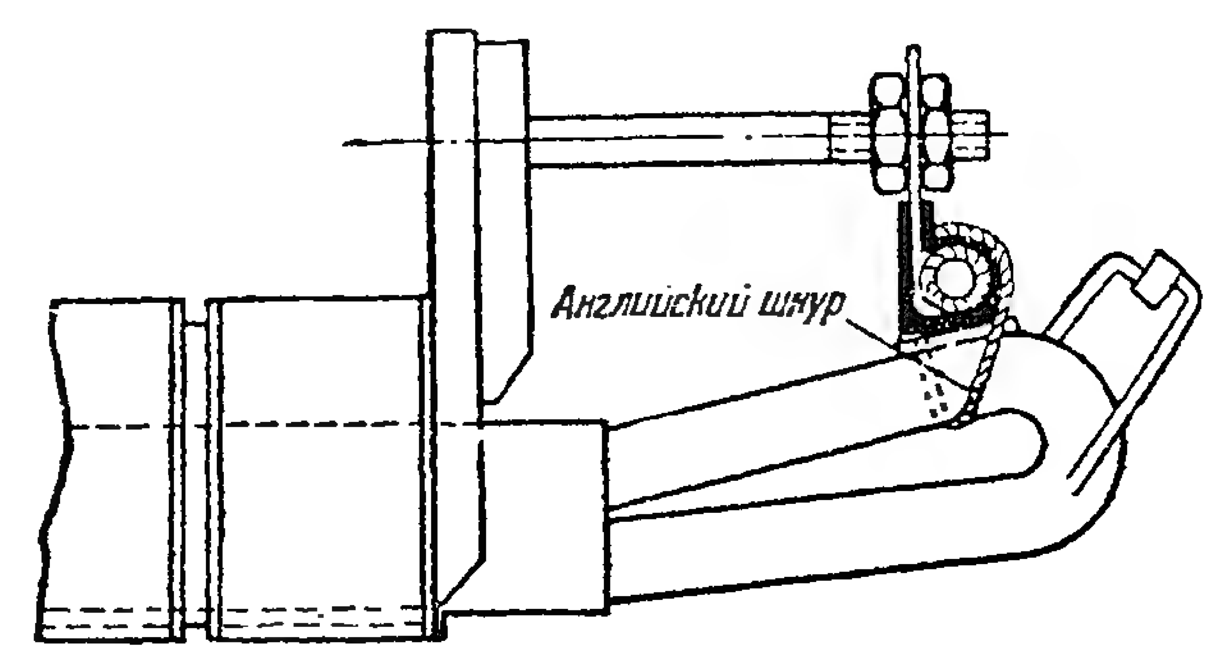


Рис. 221. Крепление лобовых частей двухслойной обмотки.

10. ПРИМЕР ОПРЕДЕЛЕНИЯ РАЗМЕРОВ КАТУШЕК ДВУХСЛОЙНОЙ ОБМОТКИ

Так как в настоящее время все больше находят применение при низких напряжениях полуоткрытые пазы, то в качестве примера определим размеры

катушки для такого паза. Как уже было сказано, при полуоткрытых пазах катушка, лежащая в одном пазу, для возможности ее укладки разделяется на две полукатушки, изолированные отдельно. Катушки показаны на рис. 222.

Данные обмотки

Внутренний диаметр статора . . .	$D_i = 390$ *мм*
Ширина железа	$l_a = 290$ „
Размеры паза	8,3/4,4×33,2/37 *мм* (см. рис. 222)
Число пазов	$Z = 72$
Число проводников в пазу	12
Размеры проводников	2,44×4,4/2,74×4,7 *мм*
Изоляция проводников	ПБД
Шаг катушки по пазам	$y_Z = 10$ (1 ÷ 11)
Напряжение	400 V

Определение размеров поперечного сечения пазовой части катушки

Размер по ширине

Ширина меди с изоляцией ПБД	2·2,74 = 5,48 *мм*
Толщина миткалевой ленты (1 слой, толщиной 0.15 *мм*, впритык на каждой полукатушке) . .	0,15·2·2 = 0,6 *мм*
Прокладка между полукатушками (прессшпан пропитанный, толщиной 0,2 *мм*)	0,2 *мм*
Толщина прессшпана пазовой изоляции (1 слой, толщиной 0,2 *мм*, и 1 слой, толщиной 0,1 *мм*)	0,2·2 + 0,1·2 = 0,6 *мм*
Толщина лакоткани пазовой изоляции (1 слой, толщиной 0,3 *мм*)	0,3·2 = 0,6 *мм*
Разбухание от пропитки	0,05·2 + 0,2 = 0,3 *мм*
Общая ширина катушек с изоляцией	7,78 *мм* ≈ 7,8 *мм*

Размер по высоте

Высота меди	6·4,7 = 28,2 *мм*
Толщина миткалевой ленты	4·0,15 = 0,6 *мм*
Прокладка между катушечными сторонами (прессшпан, толщиной 0,5 *мм*)	0,5 *мм*
Толщина пресшпана пазовой изоляции (1 слой прессшпана, толщиной 0,2 *мм*, перекрой сверху, и 1 слой прессшпана, толщиной 0,1 *мм*, впритык)	(0,2·3) + (0,1·2) = 0,8 *мм*
Толщина лакоткани пазовой изоляции (1 слой лакоткани, толщиной 0,3 *мм*, перекрой сверху) . .	0,3·3 = 0,9 *мм*
Прокладка под клин (прессшпан, толщиной 1,0 *мм*)	1,0 *мм*
Разбухание от пропитки	0,05·6 = 0,3 *мм*
Общая высота двух катушек с изоляцией	32,3 *мм* ≈ 32,5 *мм*

Определение размеров поперечного сечения лобовой части катушки

Размер по ширине

Ширина меди	2·2,74 = 5,48 *мм*
Толщина миткалевой ленты (1 слой, толщиной 0,15 *мм*, в полнахлестки на каждой полукатушке)	0,15 × 2×2×2 = 1,2 *мм*
Разбухание от пропитки	0,05·2 + 0,2 = 0,3 *мм*
Общая ширина	6,98 *мм* ≈ 7,0 *мм*

Размер по высоте

Высота меди	3·4,7 = 14,1 *мм*
Толщина миткалевой ленты	0,15·2 × 2 = 0,6 *мм*
Разбухание от пропитки	0,05·3 = 0,15 *мм*
Общая высота	14,85 *мм* ≈ 15 *мм*

Длина прямой части катушки по ф-ле (64):

$$L_1 = l_a + 2b = 290 + 2 \cdot 25 = 340 \text{ мм.}$$

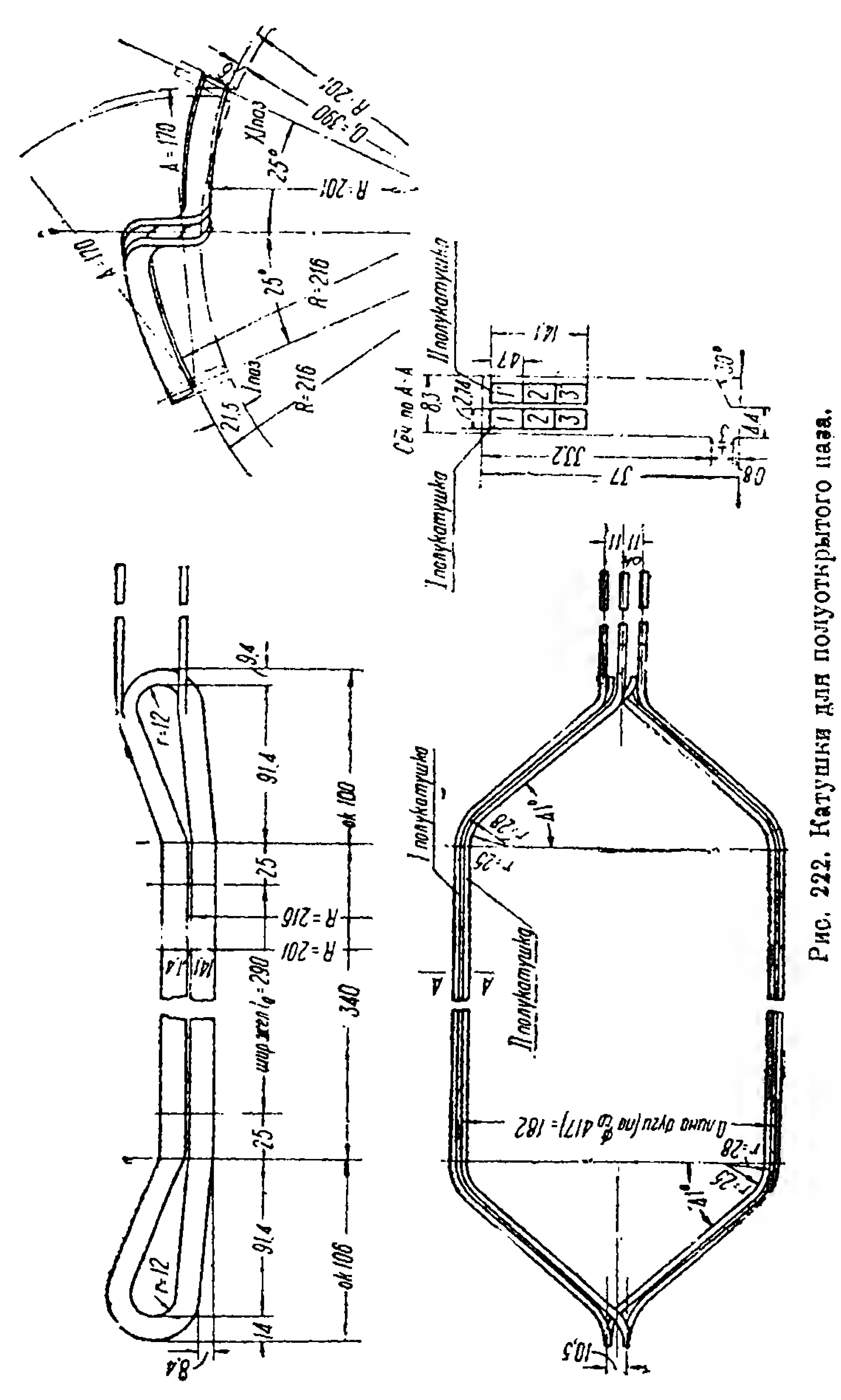


Рис. 222. Катушки для полуоткрытого паза.

Расстояние между катушечными сторонами по ф-ле (70):

$$l = \frac{\pi (R_1 + R_2)}{Z} \cdot y_Z = \frac{\pi (201 + 216)}{72} \cdot 10 = 182 \text{ мм.}$$

Величины R_1 и R_2 показаны на рис. 222.

Угол наклона лобовой части α по ф-ле (71):

$$\sin\alpha = \frac{d+s}{t}; \quad \text{здесь:} \quad s = 7 \text{ мм}; \qquad d = 4{,}5 \text{ мм};$$

$$t = \frac{2\pi R_1}{Z} = \frac{2\pi\cdot 201}{72} = 17{,}5 \text{ мм}; \qquad \sin\alpha = \frac{7+4{,}5}{17{,}5} = \frac{11{,}5}{17{,}5} = 10{,}657;$$

$$\alpha = 41^\circ.$$

Вылет лобовой части со стороны выводов по ф-ле (72):

$$f_1 = \left[r_2\left(\frac{1}{\sin\alpha} - 1\right) + \frac{l}{2}\right]\operatorname{tg} \ + H_1; \quad r_2 = r + \frac{B}{2} = 25 + \frac{6{,}08}{2} = 28{,}04 \text{ мм};$$

$$\operatorname{tg} 41^\circ = 0{,}869; \qquad H_1 \approx 2\cdot 4{,}7 = 9{,}4 \text{ мм};$$

$$f_1 = \left[28{,}04\left(\frac{1}{0{,}657} - 1\right) + \frac{182}{2}\right]\cdot 0{,}869 + 9{,}4 =$$

$$= [28{,}04\,(1{,}52 - 1) + 91]\cdot 0{,}869 + 9{,}4 = (28{,}04\cdot 0{,}52 + 91)\cdot 0{,}869 + 9{,}4 =$$

$$= 105{,}6\cdot 0{,}869 + 9{,}4 = 91{,}4 + 9{,}4 = 99{,}8 \approx 100 \text{ мм}.$$

Вылет лобовой части со стороны, противоположной выводам:

$$f_2 = \left[r_2\left(\frac{1}{\sin\alpha} - 1\right) + \frac{l}{2}\right]\operatorname{tg}\alpha + H_2;$$

$$H_2 \approx 3\cdot 4{,}7 = 14{,}1 \text{ мм};$$

$$f_2 = 91{,}4 + 14{,}1 = 105{,}5 \approx 106 \text{ мм}.$$

Угол отгиба лобовой части принимаем

$$\beta = 6^\circ.$$

Внутренний радиус головки

$$r_1 = 12 \text{ мм}.$$

По ф-ле (73):

$$k = (f_2 - H_2 - r_1)\operatorname{tg}\beta = (106 - 14 - 12)\cdot\operatorname{tg} 6^\circ =$$

$$= 80\cdot 0{,}105 = 8{,}4 \text{ мм}.$$

Размер A для установки намоточного станка по ф-ле (74):

$$A = \sqrt{R_1^2 + R_2^2 - 2R_1R_2\cos(\alpha_1 - 2\gamma)};$$

$$\alpha_1 = \frac{360}{Z}\,y_Z = \frac{360}{72}\cdot 10 = 50^\circ;$$

$$\sin\gamma = \frac{B}{2R_1} = \frac{6{,}08}{2\cdot 201} = 0{,}0151;$$

$$\gamma \approx 1^\circ.$$

$$A = \sqrt{201^2 + 216^2 - 2\cdot 201\cdot 216\cos(50 - 2^\circ)} =$$

$$= \sqrt{40\,401 + 46\,656 - 58\,100} = 170.$$

КОНСТРУКЦИЯ РОТОРНЫХ ОБМОТОК АСИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

1. КЛАССИФИКАЦИЯ РОТОРНЫХ ОБМОТОК АСИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

Обмотки роторов асинхронных машин разделяются на две основные группы, а именно:

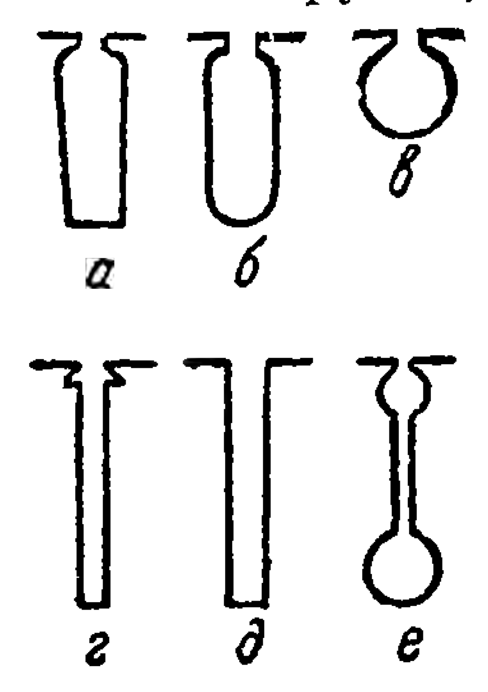


Рис. 223. Форма пазов роторов асинхронных двигателей.

1) короткозамкнутые обмотки;

2) фазовые обмотки.

К первой группе нужно отнести:

а) обмотки с простым беличьим колесом;

б) обмотки с двойным беличьим колесом;

в) обмотки с глубоким пазом.

Ко второй группе относятся:

г) обмотки катушечные;

д) обмотки стержневые.

Формы пазов, имеющие применение в роторных обмотках асинхронных двигателей, показаны на рис. 223, причем пазы *в*, *г*, *д*, *е* применяются в короткозамкнутых роторах. В фазовых роторах преимущественное распространение имеют полузакрытые пазы.

2. ОБМОТКИ С ПРОСТЫМ БЕЛИЧЬИМ КОЛЕСОМ

Эта обмотка является самой простой роторной обмоткой. Она состоит из ряда медных или латунных стержней большей частью круглого сечения, вложенных в пазы ротора. Пазы ротора при этом, как правило, не изолируются. Длина стержней несколько больше длины железа ротора. С обеих сторон ротора стержни замыкаются медными кольцами.

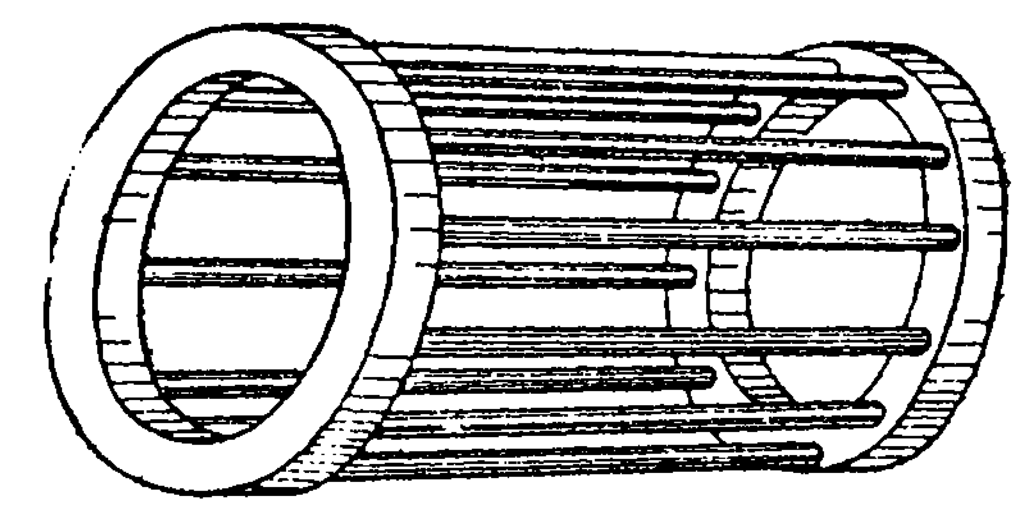


Рис. 224. Роторная обмотка в виде беличьего колеса.

На рис. 224 показана роторная обмотка в виде беличьего колеса. Крепление колец к стержням обыкновенно осуществляется следующим образом: кольца с просверленными сквозными отверстиями надеваются на стержни и затем тщательно припаиваются. Иногда кольца припаиваются к стержням. Ротор с обмоткой в виде беличьего колеса показан на рис. 225. Такого рода обмотки применяются у двигателей малой и средней мощности.

В настоящее время широкое распространение получила обмотка в виде беличьего колеса, выполняемая путем заливки пазов ротора

алюминием. Одновременно с заливкой пазов отливаются и короткозамыкающие кольца, а в некоторых случаях и лопасти вентилятора. Простота и дешевизна изготовления такой обмотки, уменьшение веса ротора дают большую экономию при массовом производстве двигателей. На рис. 226 показан ротор с беличьим колесом, выполненный путем заливки алюминием. Как видно из рис. 226, конструкция ротора при таком исполнении обмотки получается очень простой и компактной.

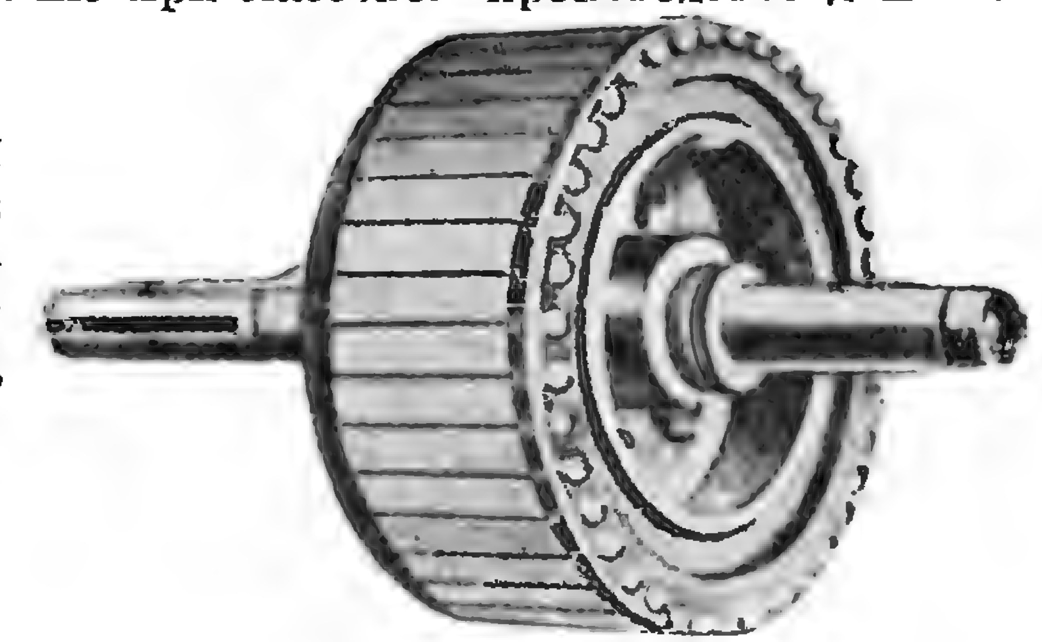


Рис. 225. Ротор с обмоткой в виде беличьего колеса.

3. ОБМОТКИ С ДВОЙНЫМ БЕЛИЧЬИМ КОЛЕСОМ

Эти обмотки известны также под названием обмоток Бушеро; они представляют собой по существу две самостоятельные обмотки — два беличьих колеса, расположенных одно внутри другого. На рис. 227 показан ротор с обмоткой, выполненной в виде двойного беличьего колеса. Как видно из рисунка, конструктивное выполнение этой обмотки ничем по существу не отличается от обмотки с одним беличьим колесом.

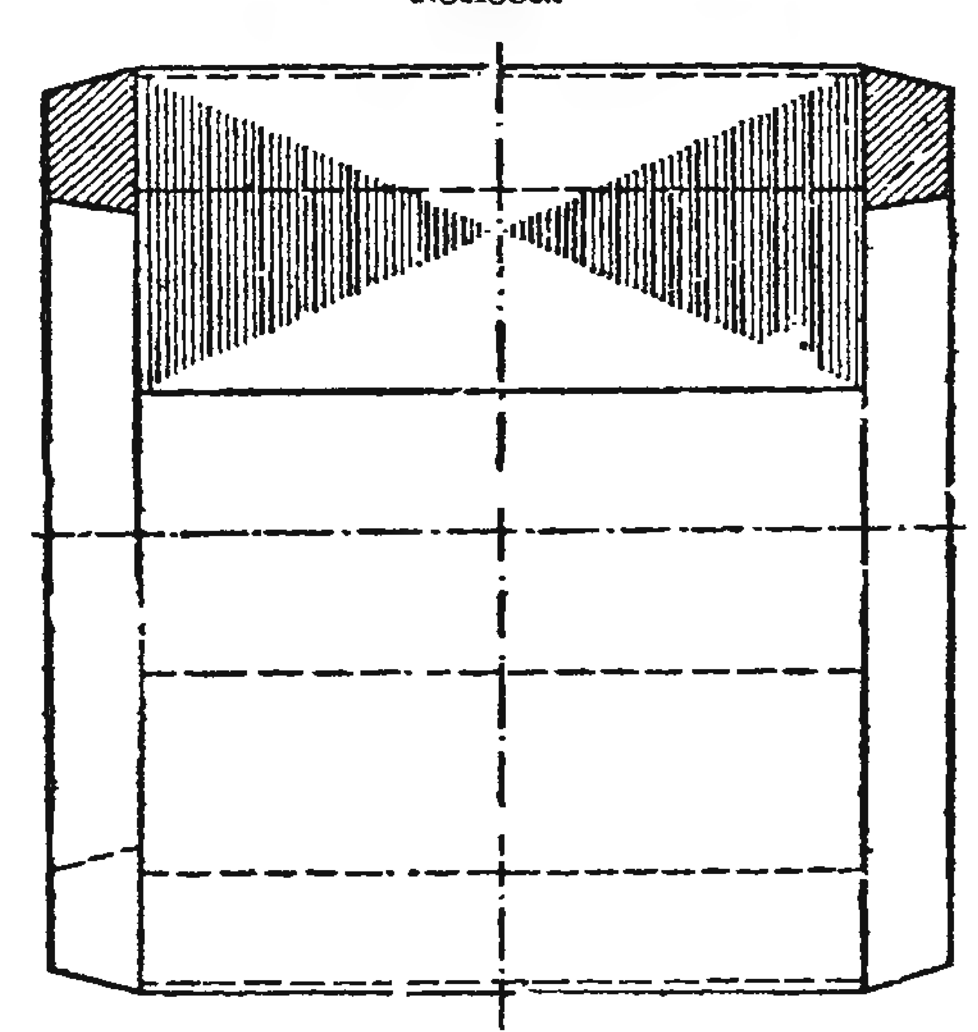


Рис. 226. Ротор с беличьим колесом, выполненным путем заливки алюминием.

Двойную беличью клетку можно получить также заливкой металла в роторные пазы специальной формы. На рис. 228 показан разрез ротора двигателя Бушеро с залитой обмоткой. Два паза слева (заштрихованы) залиты алюминием. Такой способ изготовления обмотки представляет несомненные преимущества в смысле как облегчения веса ротора, так и уменьшения размеров об-

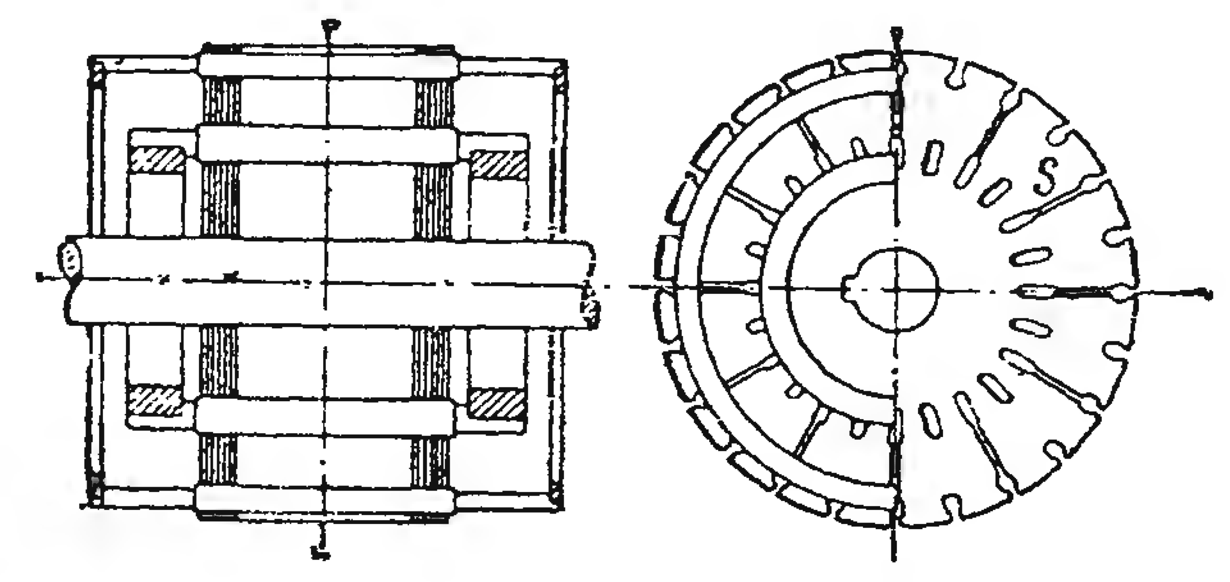


Рис. 227. Ротор с обмоткой в виде двойного беличьего колеса.

мотки. Такая обмотка представляет собой прочную и дешевую конструкцию.

4. ОБМОТКА РОТОРА С ГЛУБОКИМ ПАЗОМ

Дальнейшим шагом по пути к упрощению конструкции обмотки с двойным беличьим колесом является замена алюминиевых стержней фасонного сечения, получаемых заливкой, стержнями прямоугольного сечения, высота которых в несколько раз больше ширины. Такие стержни вкладываются в открытые пазы соответствующей формы.

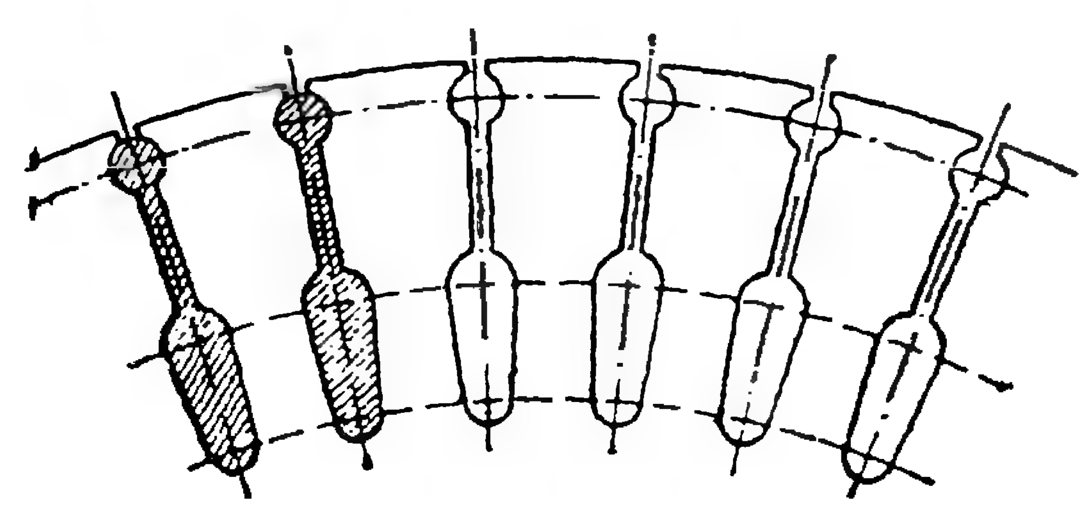


Рис. 228. Ротор двигателя Бушеро с залитой обмоткой.

Ротор с такой обмоткой показан на рис. 229, а на рис. 230 показано сечение ротора по пазам.

Как показано на рис. 229, в лобовых частях стержни между собой соединены кольцами, снабженными лопатками, выполняющими роль вентилятора.

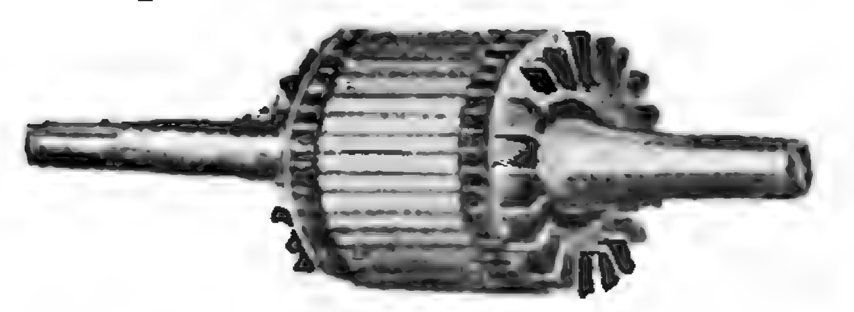


Рис. 229. Ротор с глубоким пазом.

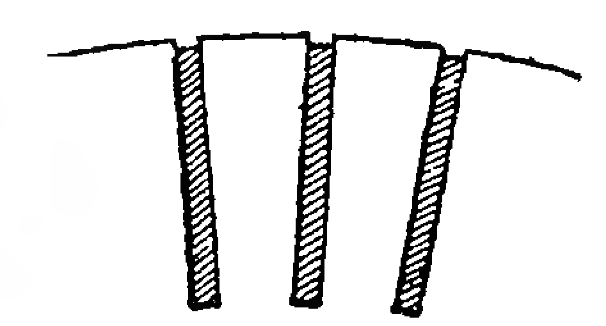


Рис. 230. Сечение ротора по пазам.

5. КАТУШЕЧНАЯ ОБМОТКА

Катушечные обмотки выполняются, главным образом, в виде однослойных обмоток путем протяжки через пазы, непосредственно на роторе, аналогично протяжным статорным обмоткам. Благодаря относительной сложности выполнения катушечная обмотка в роторах асинхронных двигателей применяется редко, главным образом в двигателях малой мощности. На рис. 231 показан ротор асинхронного двигателя с катушечной обмоткой.

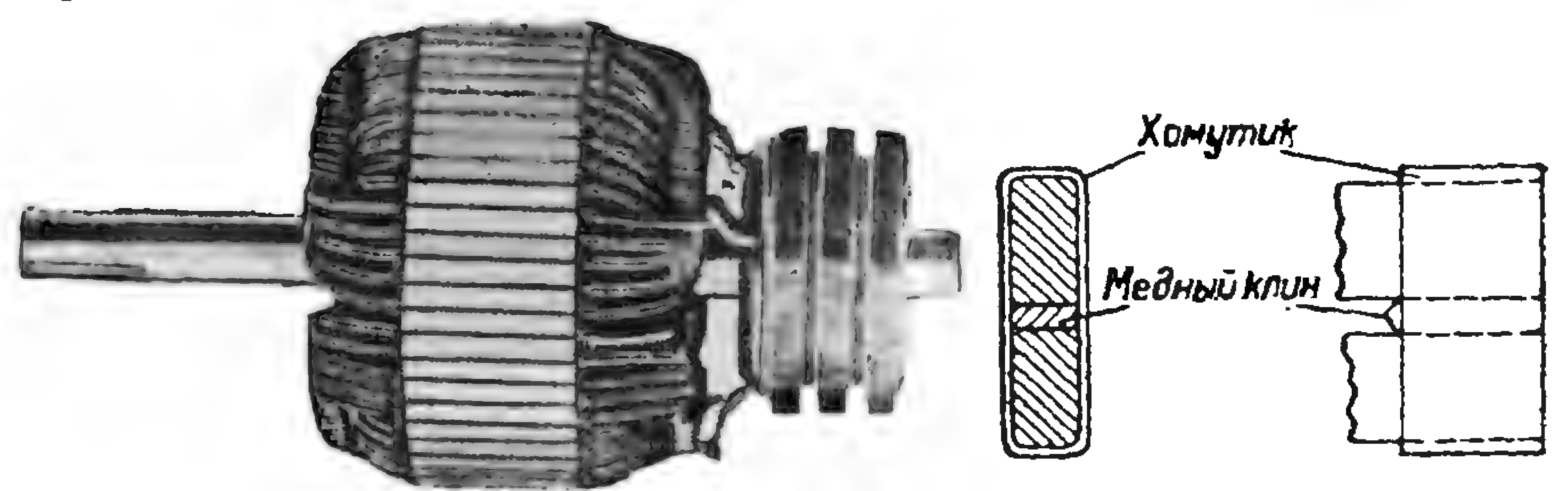


Рис. 231. Ротор с катушечной обмоткой. Рис. 232. Хомутик с клином.

6. СТЕРЖНЕВАЯ ОБМОТКА

Эта обмотка имеет большое распространение в роторах асинхронных двигателей средней и, в особенности, большой мощности. Такая обмотка выполняется в виде двухслойной петлевой или волновой обмотки. По своей конструкции она весьма близка к стержневой обмотке якорей машины постоянного тока, отличаясь от нее, главным образом, отсутствием петушков, уравнительных соединений и способом соединения. Благодаря тому что в роторах асинхронных двигателей применяются, главным образом, полузакрытые пазы, стержни не могут быть вложены

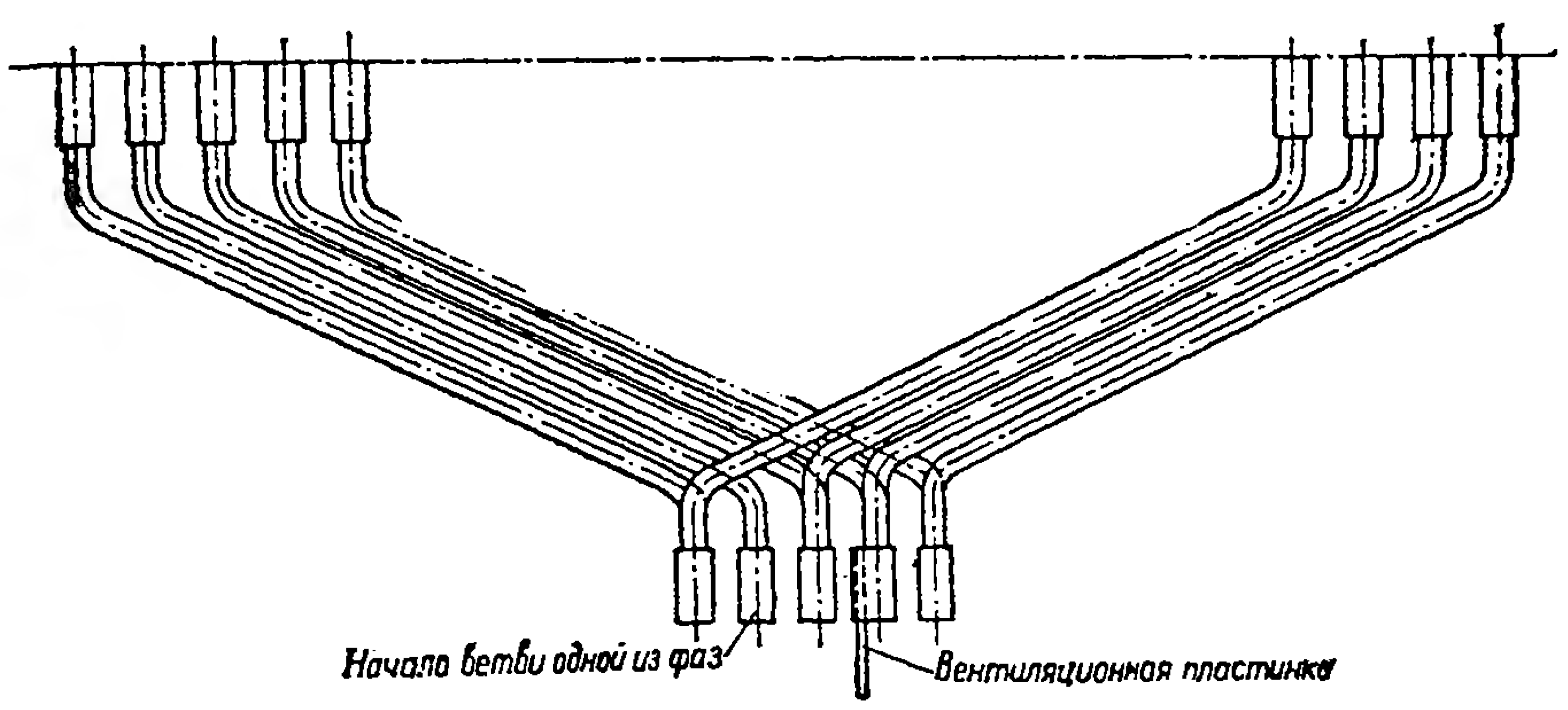


Рис. 233. Лобовые соединения роторной обмотки асинхронного двигателя со стороны контактных колец.

сверху в паз, а должны вставляться в него с торцовой стороны. Поэтому лобовая часть стержня может быть отогнута заранее на шаблоне только с одной стороны. С другой стороны лобовые части отгибаются после укладки на самом роторе.

В стержневых обмотках роторов применяется медь либо прямоугольного сечения, либо специальная, так называемая роторная медь. Изоляция стержней, так же как и изоляция паза, будет описана ниже. Отдельные стержни обмотки соединяются между собой при помощи хомутиков, как показано на рис. 232.

Лобовые части обмотки, так же как в якорях постоянного тока, укрепляются при помощи проволочных бандажей. Метод их расчета приведен выше.

На рис. 233 показана лобовая часть обмотки со стороны контактных колец. Как видно из рисунка, она мало отличается от стержневой обмотки якоря постоянного тока.

Для получения более интенсивной вентиляции в хомутики, соединяющие отдельные стержни обмотки, вставляют пластинки из белой жести. Эти пластинки играют роль вентиляторных крыльев. На рис. 234 показан хомутик с вентиляторной пластинкой.

И з о л я ц и я стержней роторной обмотки зависит от напряжения между контактными кольцами. Для напряжения до 500 V основной изоляцией является бакелизированная бумага, которой обматывается стержень и запрессовывается. Для напряжений до 300 V берутся 5—7

слоев бумаги, толщиной около 0,07 *мм*. Для напряжений от 300 до 500 V берутся 10 слоев бумаги. Для предохранения изоляции стержней в паз закладывается гильза из летероида, толщиной 0,2 *мм*. Лобовая часть при напряжении до 300 V изолируется одним слоем тафтяной ленты в полнахлестки, а при напряжениях до 500 V — слоем лакированной ленты и поверх нее миткалевой лентой. При напряжениях свыше 500 V изолируются в пазовой части микалентой и микафолием и микалентой—в лобовой части.

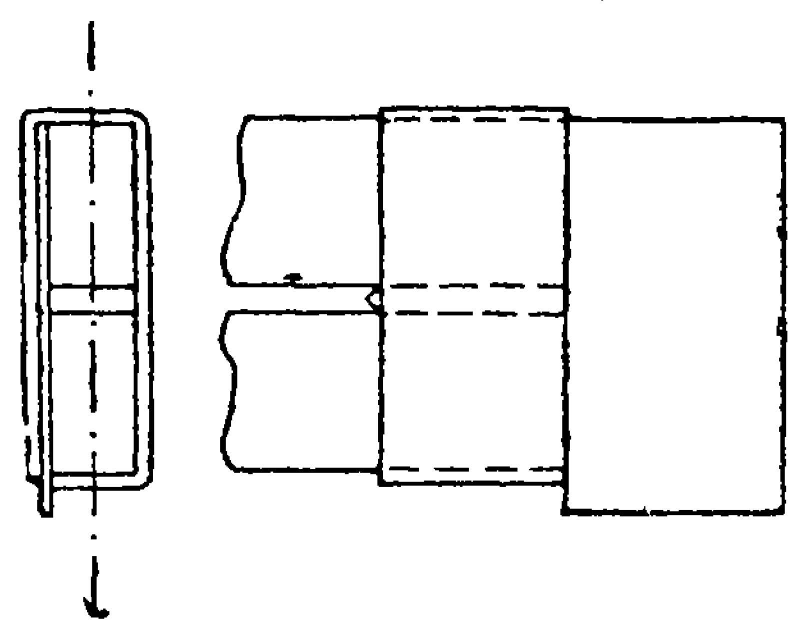


Рис. 234. Хомутик с вентиляторным крылом.

При напряжениях от 500 до 750 V в пазовой части берут один слой микаленты и два слоя микафолия, покрывая сверху одним слоем летероида; в лобовой части — один слой микаленты и один слой тафтяной ленты.

При напряжениях от 750 до 1000 V в пазовой части число слоев микафолия увеличивают до трех, а в лобовой берут два слоя микаленты.

При напряжениях от 1000 до 1500 V в пазовой части — два слоя микаленты и четыре слоя микафолия, а в лобовой части — три слоя микаленты.

Дополнительные сведения об изоляции роторной обмотки см. в главе VIII.

С о е д и н е н и е с т е р ж н е в о й о б м о т к и может осуществляться либо в звезду, либо в треугольник. Однако чаще всего применяется соединение в звезду.

Такое соединение обмоток осуществляется следующим образом. Концы каждой фазы соединяются вместе посредством так называемой нулевой шины. Начало обмотки каждой фазы присоединяется к трем контактным кольцам. Кроме того благодаря двуслойности обмотки в каждой фазе имеются две самостоятельные ветви обмотки, которые соединяются между собой или последовательно или параллельно, в зависимости от заданной схемы обмотки, при помощи соединительных шин. Нулевая и соединительные шины обычно расположены с внутренней стороны обмоткодержателя. Соединение их со стержнями обмотки производится либо соответствующим изгибом этих шин, как показано на рис. 235, либо посредством промежуточных шин, которые одними своими концами соединяются с соответствующими хомутиками, скрепляющими стержни обмотки, а другими приклепываются к нулевой или соединительным шинам, в зависимости от назначения. Шины соединяются на заклепках и тщательно пропаиваются.

Для соединения обмотки с контактными кольцами к соответствующим точкам обмотки присоединяются три шины, концы которых обычно приклепываются к стержням, выведенным от контактных колец.

Крепление нулевой и соединительных шин к обмоткодержателю осуществляется посредством скоб, как это видно из рис. 235.

Определение размеров стержневых роторных обмоток производится таким же способом и по тем же формулам, как для якорных обмоток машин постоянного тока.

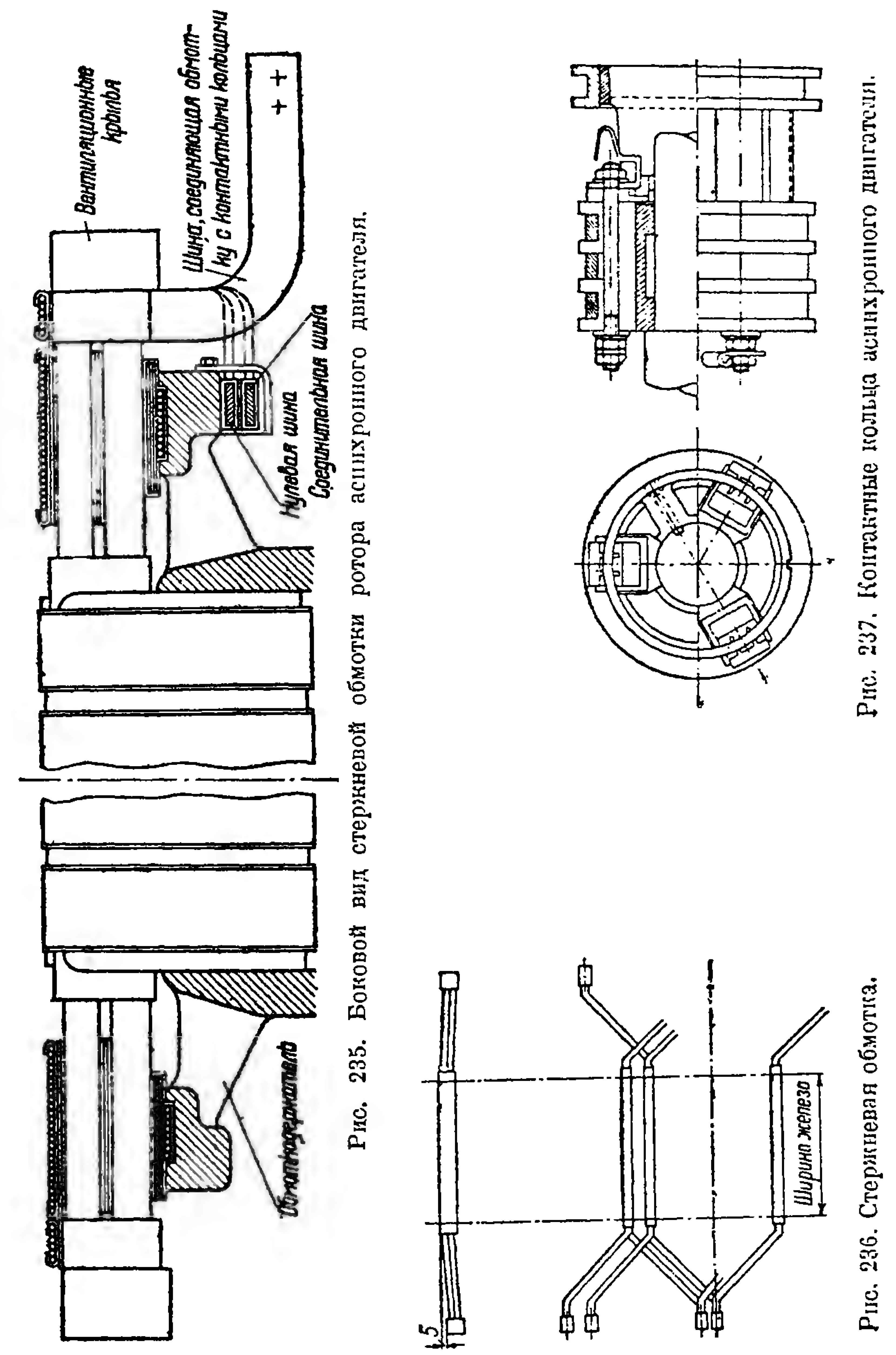


Рис. 235. Боковой вид стержневой обмотки ротора асинхронного двигателя.

Рис. 236. Стержневая обмотка.

Рис. 237. Контактные кольца асинхронного двигателя.

При определении длины прямой части принимают длину выступающей из паза части от 10 до 30 *мм*, в зависимости от напряжения между

контактными кольцами. Расстояние между сторонами лобовых частей двух соседних стержней берут для напряжений до 500 V равным 2,5 *мм*, а для напряжений свыше 500 V — 3,5 *мм*. Для облегчения сборки и разборки машины лобовую часть отгибают к центру на 5—6 *мм*, как показано на рис. 236.

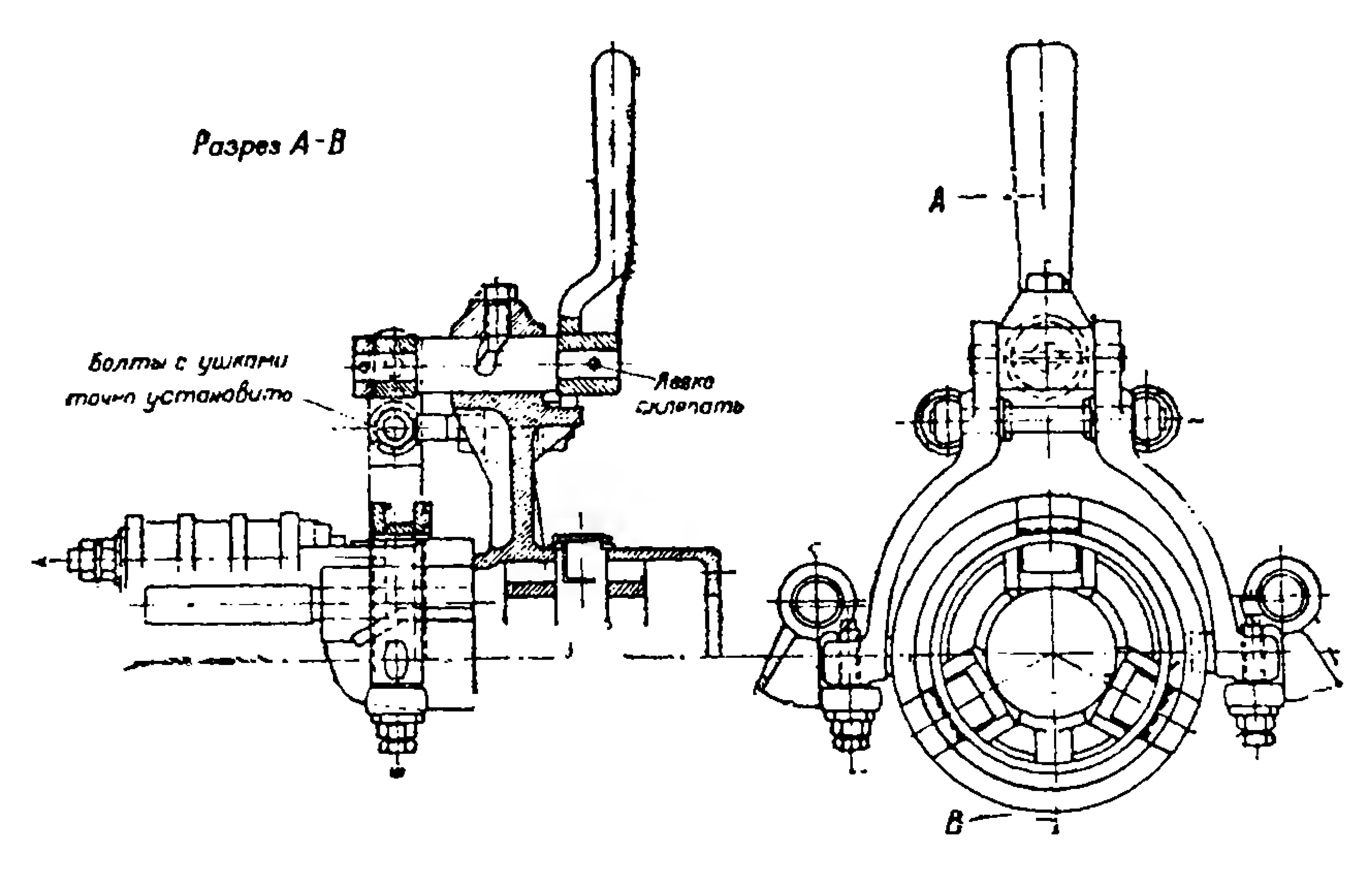


Рис. 238. Механизм для подъема щеток и короткого замыкания колец.

7. КОНТАКТНЫЕ КОЛЬЦА И ПРИСПОСОБЛЕНИЕ ДЛЯ ПОДЪЕМА ЩЕТОК И КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ

При пуске в ход асинхронного двигателя с фазовой обмоткой ротора в цепь последнего включается пусковой реостат. Соединение обмотки с реостатом осуществляется при помощи щеток и трех контактных колец, к которым присоединяются концы обмотки.

После того как ротор достиг нормального числа оборотов, сопротивление реостата полностью выводится из цепи ротора. Для того чтобы щетки после этого бесполезно не истирались о кольца, двигатель снабжается механизмом, при помощи которого контактные кольца, а вместе с тем и обмотка ротора замыкаются накоротко, и одновременно щетки приподымаются на некоторое расстояние от контактных колец.

Контактные кольца асинхронного двигателя показаны на рис. 237. Как видно из рисунка, три кольца посажены на общую втулку и изолированы от нее слоем миканитовой опрессовки. Присоединение концов обмотки к кольцам производится при помощи стержней, закрепленных в каждом кольце.

Механизм для подъема щеток и короткого замыкания колец показан на рис. 238.

ОБМОТКИ ВОЗБУЖДЕНИЯ СИНХРОННЫХ МАШИН С ЯВНОВЫРАЖЕННЫМИ ПОЛЮСАМИ

1. КОНСТРУКЦИЯ КАТУШЕК ВОЗБУЖДЕНИЯ

Обмотки возбуждения синхронных машин с явновыраженными полюсами выполняются в виде катушек, расположенных на сердечниках полюсов ротора.

В отличие от катушек возбуждения машин постоянного тока, эти катушки, как правило, изготовляются из плоской неизолированной меди, изгибаемой при намотке на ребро. Благодаря такому способу намотки на сердечнике полюса можно расположить в один ряд большое число витков, причем катушка имеет относительно большую поверхность охлаждения. На рис. 239 показан разрез полюса синхронной машины с катушкой возбуждения. Намотка катушек на ребро представляет значительные затруднения и может быть выполнена при наличии специальных станков. Однако преимущества такого выполнения катушек настолько значительны, что теперь исключительно применяются такие катушки. В том случае, когда между соседними полюсами мало свободного места для размещения обмотки, прибегают к ступенчатому выполнению катушек. Витки, расположенные ближе к ободу ротора, делают из меди меньшей ширины, чем витки в верхней части катушки, где места всегда больше, но сечение оставляют всегда одинаковым. На рис. 240 показана ступенчатая катушка, а на рис. 241—стык широкой и узкой меди. Место стыка спаивается серебром. Переход от одного сечения к другому рекомендуется делать плавно, так, чтобы получить наибольшую поверхность соприкосновения соединяемых полос. Последнее время при недостаточности места между полюсами применяют, кроме описанного, и другой способ. Катушка наматывается целиком из меди одного сечения. Затем часть витков на известной высоте срезается по своей ширине. Вид катушки со срезанными нижними витками показан на рис. 242.

В очень крупных машинах для увеличения поверхности охлаждения катушек им в торцовой (лобовой части) придают гребенчатое очертание. Для этого витки через один делают по длине больше соседних.

Профиль лобовой части такой катушки показан на рис. 243.

Все катушки возбуждения наматываются в одну сторону и соединяются между собой последовательно. Для соединения катушек между собой и для присоединения их к токопроводу к концам катушек припаиваются выводные пластины. Выводные пластины соседних катушек соединяются между собой хомутиками и припаиваются. Соединение катушек видно на рис. 244. При больших окружных скоростях ротора, под действием центробежных сил, витки катушки могут выпучиться и соединительные пластины изогнуться, причем соединение пластин может нарушиться. Для избежания этого между катушками устанавливаются распорки, а соединительные пластины укрепляются жесткими гэтинаксовыми пластинами. Распорки и укрепляющие пластины видны на рис. 244. Показанная на этом рисунке конструкция применяется

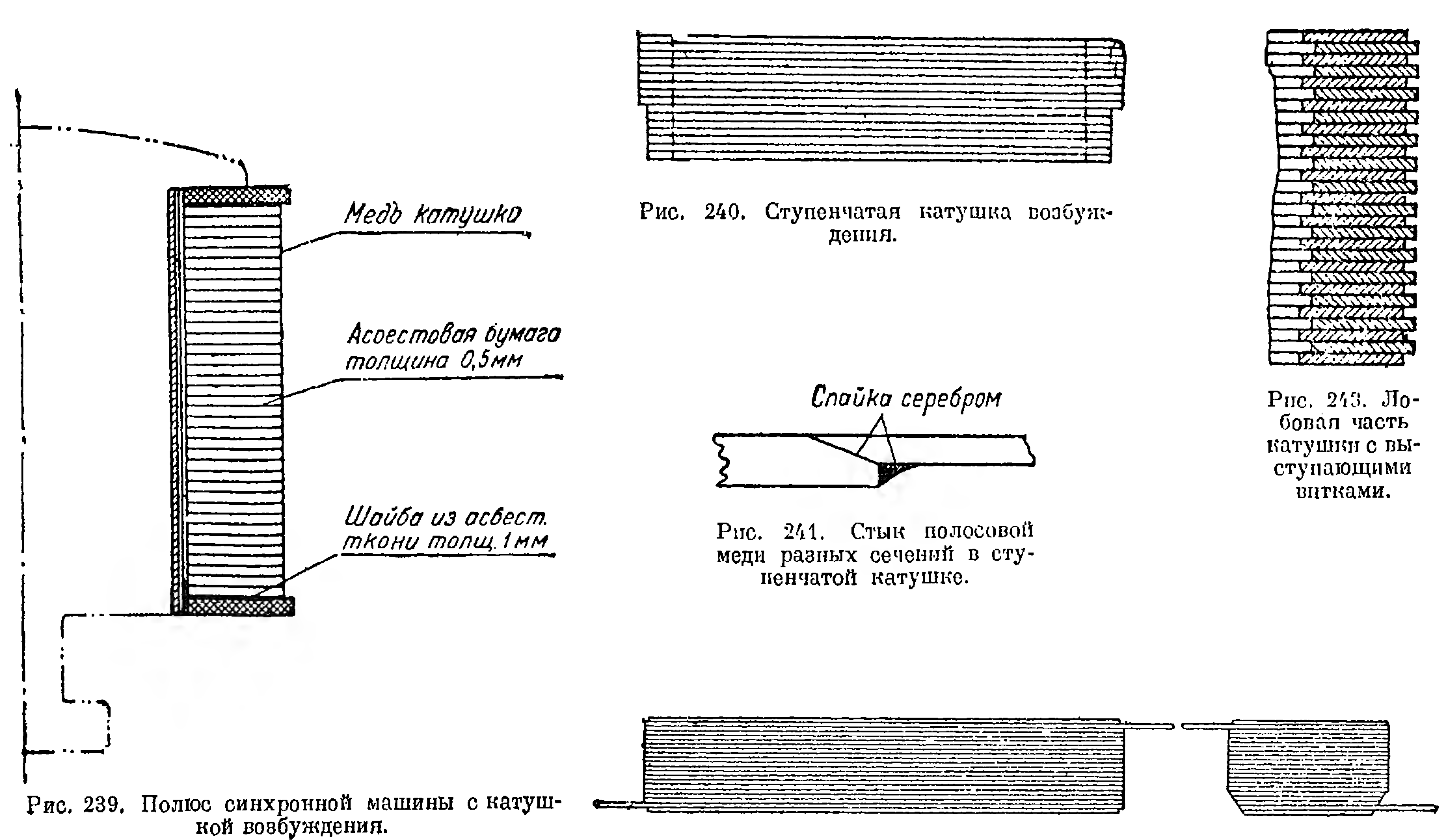


Рис. 239. Полюс синхронной машины с катушкой возбуждения.

Рис. 240. Ступенчатая катушка возбуждения.

Рис. 241. Стык полосовой меди разных сечений в ступенчатой катушке.

Рис. 243. Лобовая часть катушки с выступающими витками.

Рис. 242. Катушка возбуждения со срезанными витками.

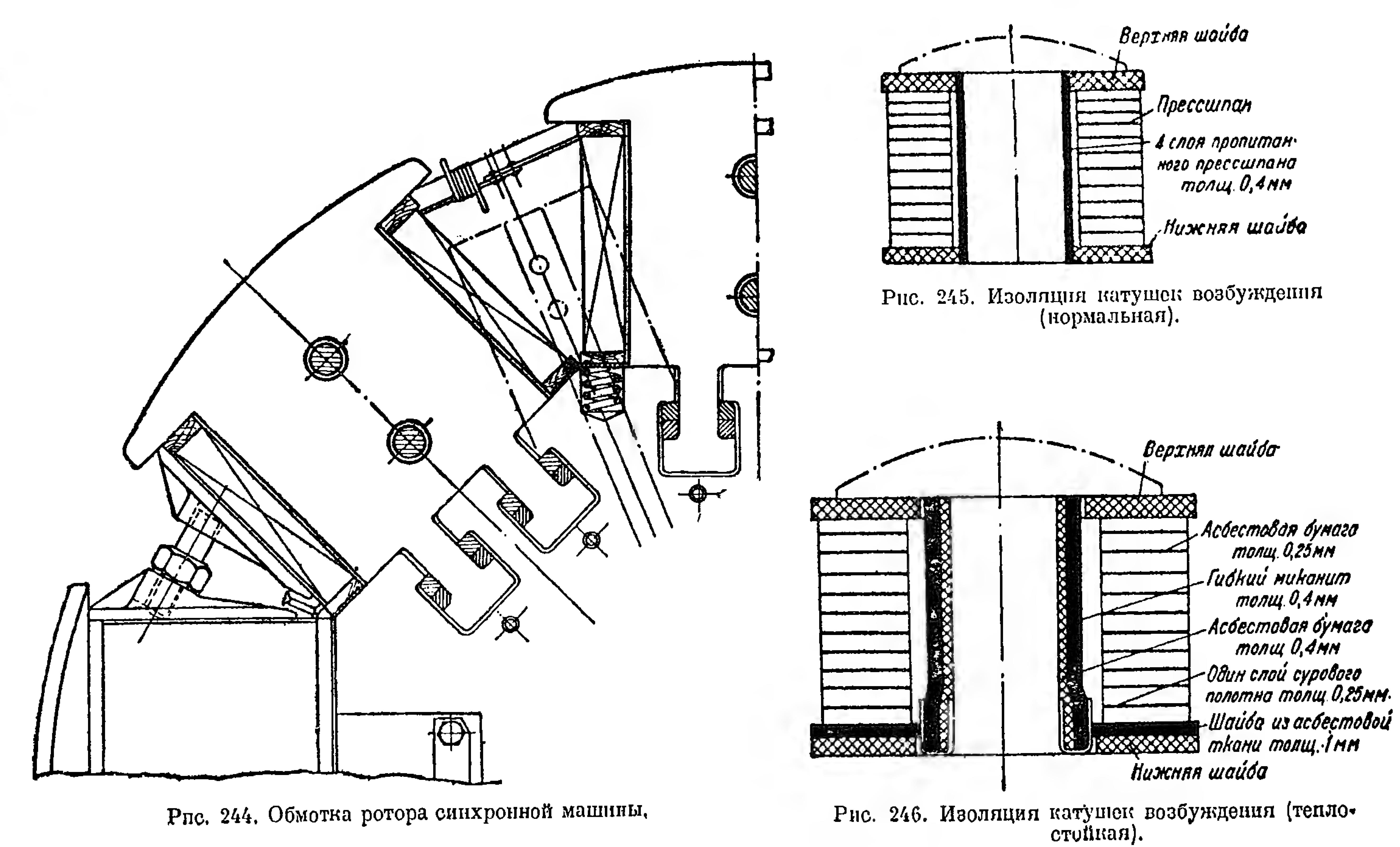


Рис. 244. Обмотка ротора синхронной машины.

Рис. 245. Изоляция катушек возбуждения (нормальная).

Рис. 246. Изоляция катушек возбуждения (теплостойкая).

в машинах средних размеров. В очень крупных машинах распорки крепятся к ободу ротора специальными шпильками, так же как и соединительные пластины.

2. ИЗОЛЯЦИЯ КАТУШЕК ВОЗБУЖДЕНИЯ

Катушки возбуждения насаживаются на изолированный сердечник. Изоляция между витками наклеивается с каждой стороны витка.

Нормальная изоляция сердечника состоит из 4—5 слоев прессшпана, толщиной 0,4—0,5 *мм*.

Между витками с каждой стороны проводника наклеивается на шеллачном лаке прессшпан, толщиной 0,2 *мм*. Сверху и снизу катушки

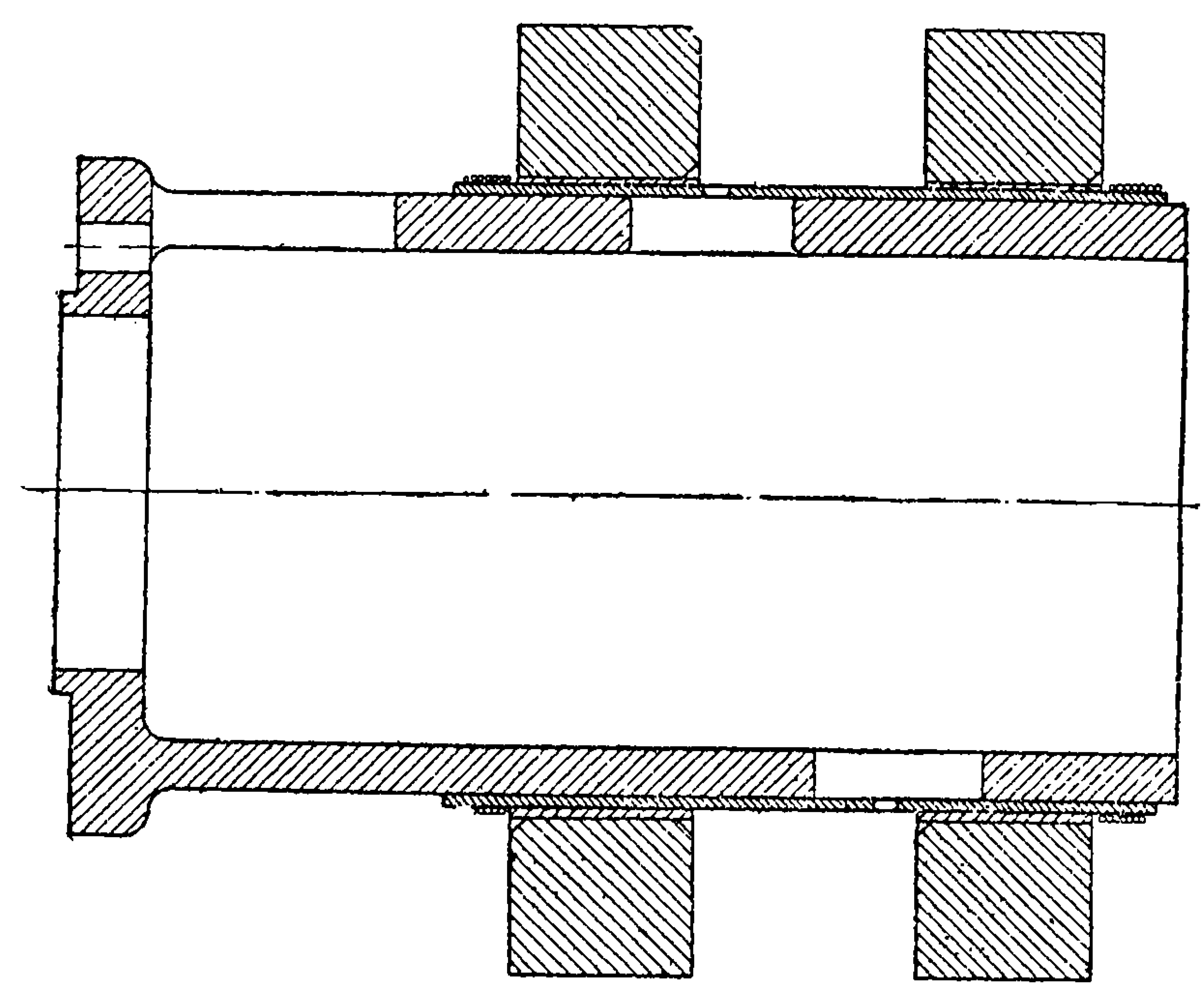


Рис. 247. Контактные кольца синхронной машины.

для изолировки от сердечника (башмака) и тела ротора кладутся изоляционные шайбы из пропитанного дерева или гэтинакса. Толщина шайб около 10 *мм*.

Для получения теплостойкой изоляции класса В сердечник полюса изолируется 2—3 слоями асбестовой бумаги и 2—3 слоями гибкого миканита, толщиной 0,4—0,5 *мм*. Между витками прокладывается на шеллаке асбестовая бумага, толщиной 0,25 *мм*. Между деревянными шайбами и катушкой прокладывается шайба из асбестовой ткани, толщиной около 1 *мм*.

Нормальная и теплостойкая изоляция катушек возбуждения показана на рис. 245 и 246.

После заклинивания полюса на роторе катушка возбуждения должна быть плотно прижата к ободу ротора и башмаку полюсного сердечника. Для этого под нижние изоляционные шайбы подкладываются выравнивающие дистанционные шайбы из прессшпана. С течением времени возможно некоторое ослабление катушки на полюсе.

Для того чтобы в этом случае изоляционные шайбы не могли перемещаться в специальные гнезда, в тело ротора закладываются

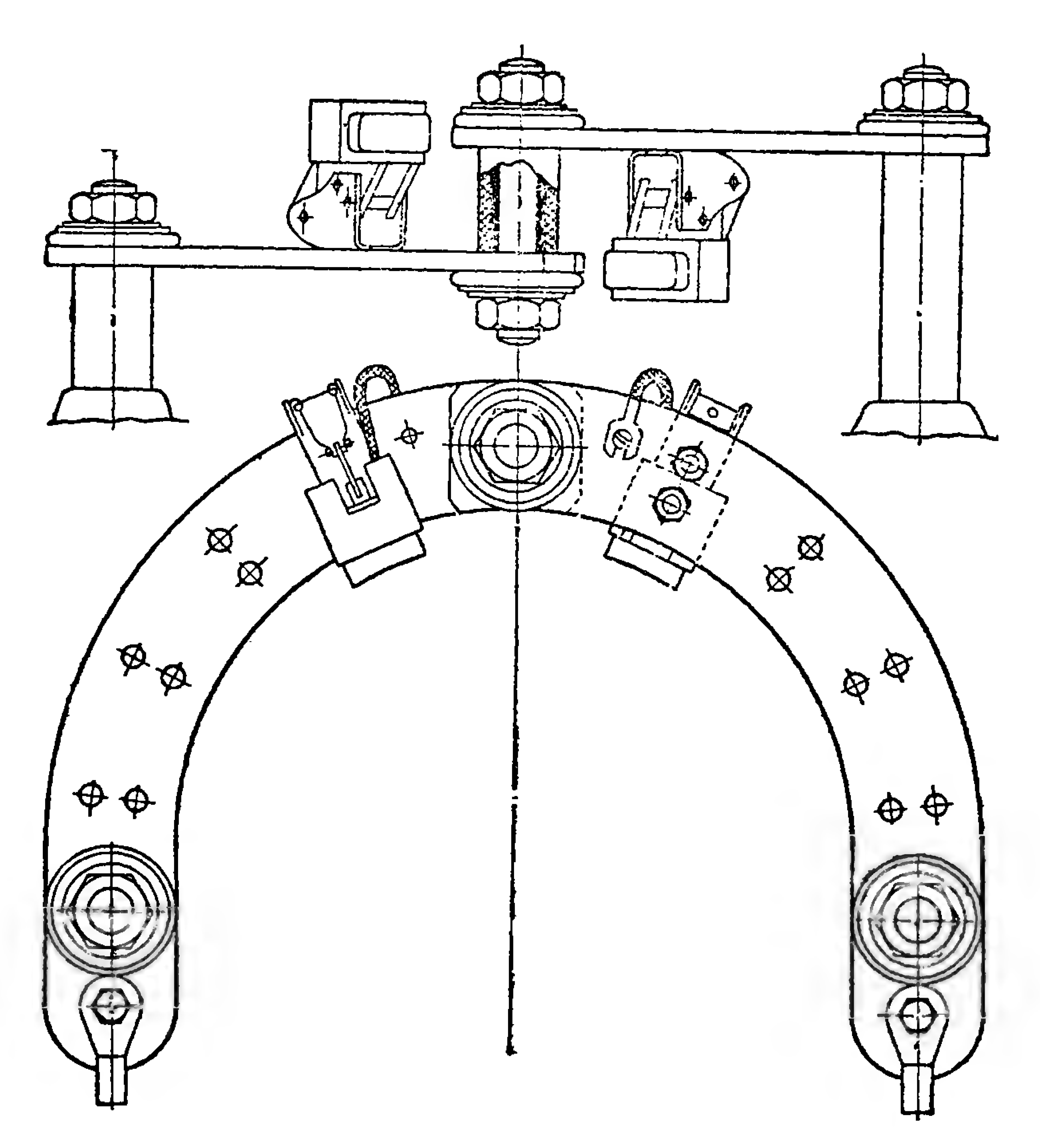


Рис. 248. Траверса синхронной машины.

пружины, прижимающие изоляционные шайбы. Пружины видны на рис. 244.

3. ТРАВЕРСА И КОНТАКТНЫЕ КОЛЬЦА

Для соединения обмотки возбуждения с источником постоянного тока (возбудителем) служат контактные кольца и траверса со щет-

ками. Контактные кольца обычно в машинах малых и средних мощностей насаживаются в горячем состоянии на общую втулку, предварительно изолированную миканитом, как показано на рис. 247. К каждому кольцу присоединяются при помощи гибкого кабеля выводные концы первой и последней катушек ротора. Подводящие провода от возбудителя присоединяются к шинам траверса. На последних закреплены щеткодержатели со щетками, которые прижимаются к контактным кольцам. Нормальная конструкция траверсы со щеткодержателями показана на рис. 248.

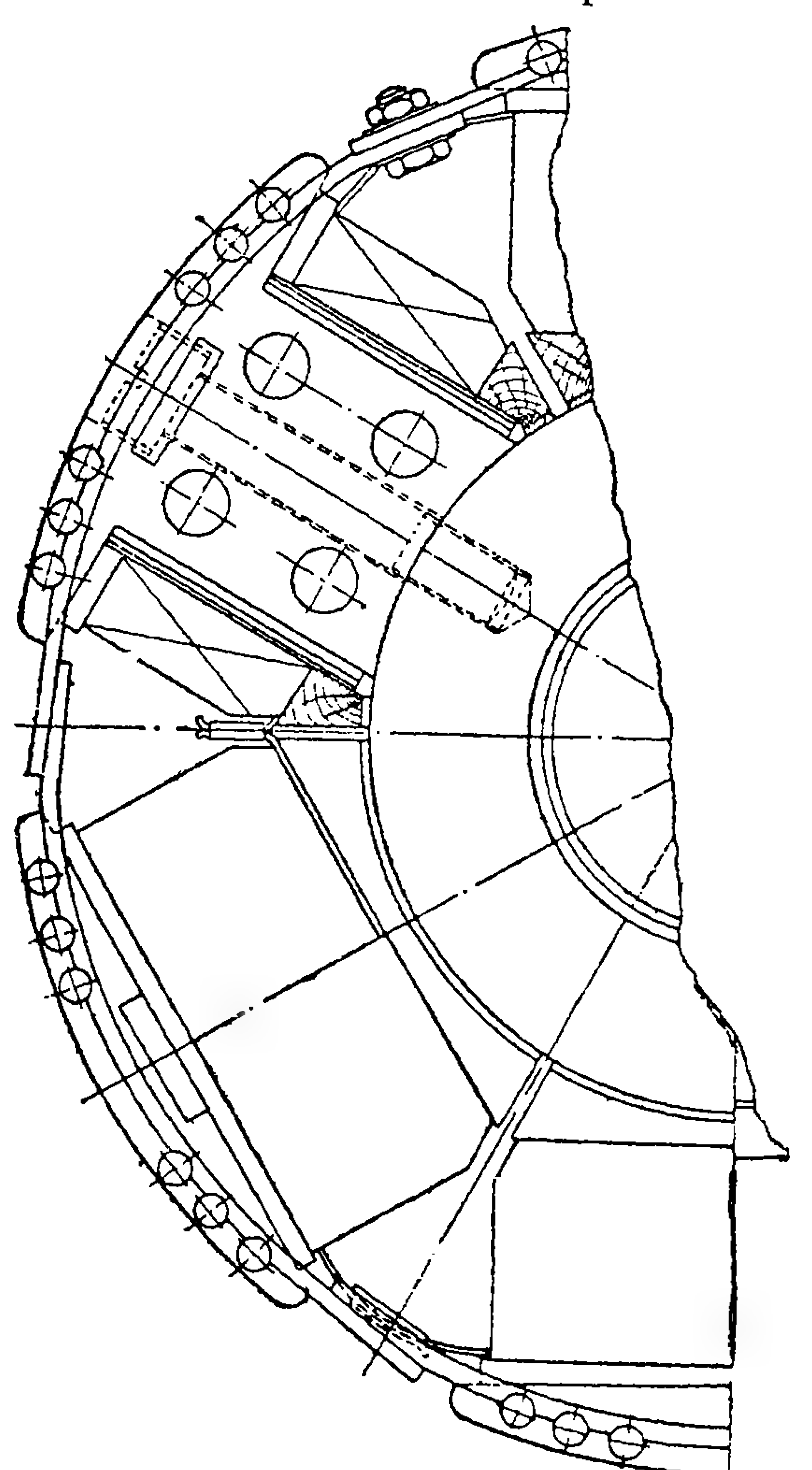


Рис. 249. Ротор синхронного двигателя.

4. ДЕМПФЕРНАЯ ОБМОТКА СИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

Обычно синхронные двигатели снабжаются специальной пусковой или демпферной обмоткой. Эта обмотка по своей конструкции аналогична беличьему колесу ротора асинхронного двигателя. Она состоит из круглых медных или латунных стержней, заложенных в соответствующие пазы в полюсных башмаках. С обеих сторон полюсов выступающие концы стержней замыкаются кольцами. Часть ротора синхронного двигателя с демпферной обмоткой показана на рис. 249.

ОТДЕЛ ТРЕТИЙ

ПРОИЗВОДСТВО ОБМОТОК

ГЛАВА VIII

ИЗГОТОВЛЕНИЕ ОБМОТОК ЯКОРЕЙ И РОТОРОВ

1. ИЗГОТОВЛЕНИЕ ПРОВОЛОЧНЫХ МНОГОВИТКОВЫХ ОБМОТОК ЯКОРЕЙ ПОСТОЯННОГО ТОКА

А. Заготовка катушек якорных обмоток на шаблонах-оправках

Для намотки секций применяются деревянные оправки, показанные на рис. 250 и 251. Эти оправки состоят из трех частей: основания *1* и двух боковых планок *2* и *3*. Планка *2* всегда бывает наглухо прикреплена к основанию *1*, планка *3* делается съемной. В боковых планках сделаны вырезы, в которые в процессе намотки укладывают кусочки шпагата или ленты для скрепления намотанных секций. Основание оправки *1* всегда имеет небольшой «конус» для лучшего снятия намотанных секций.

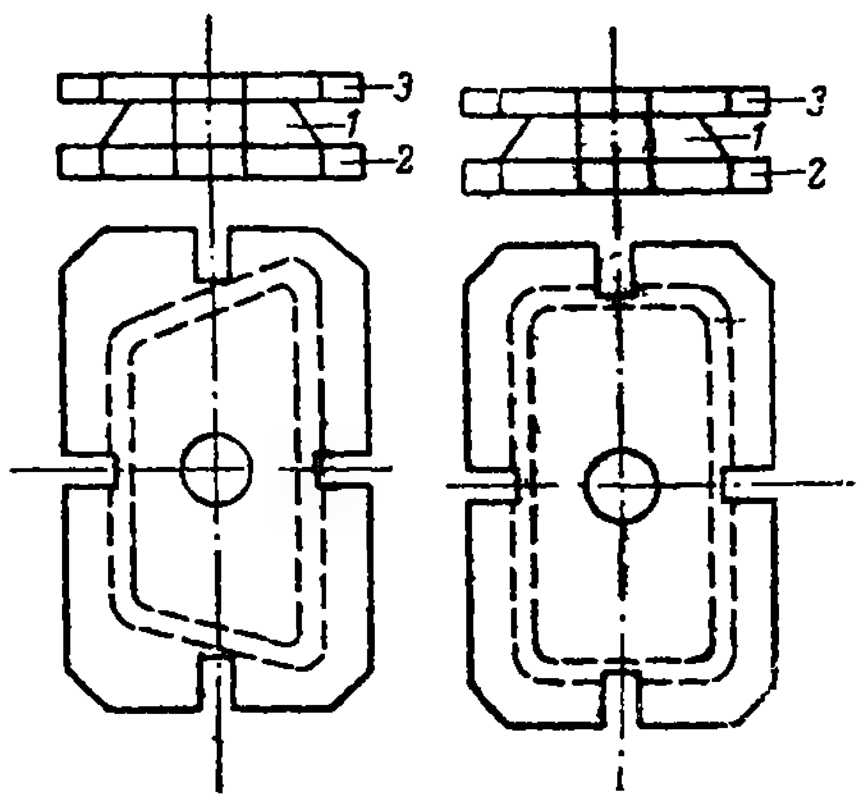


Рис. 250. Оправка для намотки катушек.

Рис. 251. Оправка для намотки катушек.

Во всех трех частях шаблона имеются отверстия для надевания их на болт, прикрепляемый к шпинделю намоточного станка. В зависимости от размеров секций оправки имеют различные размеры и формы — прямоугольные, фасонные. Большей частью описанные оправки применяются для намотки рассыпной обмотки. При изготовлении обмотки якорей, у которых в пазу помещается несколько секций, состоящих из большого количества витков тонкой проволоки, на шаблон-оправку сразу наматывают несколько секций параллельно двумя-четырьмя проводниками с разных бухт. Этим самым ускоряется процесс изготовления якорной обмотки.

Для примера рассмотрим намотку одной якорной катушки, состоящей из трех секций. Число витков в каждой секции — 22. Следовательно в якорной катушке будет 22·3 = 66 витков.

Установив деревянную оправку на намоточный станок и закрепив ее, пропускают медь через зажимное приспособление. Начало медного проводника закрепляется на шаблоне-оправке при помощи металлической «собачки», имеющейся на оправке. Намотав 22 витка, выпускают петлю и опять приступают к намотке второй секции, также имеющей 22 витка. Намотав вторую секцию, выпускают вторую петлю и приступают к намотке третьей секции. Намотав третью секцию, снимают боковую планку *3* шаблона и перевязывают намотанную катушку (3 секции) ранее подложенным шпагатом.

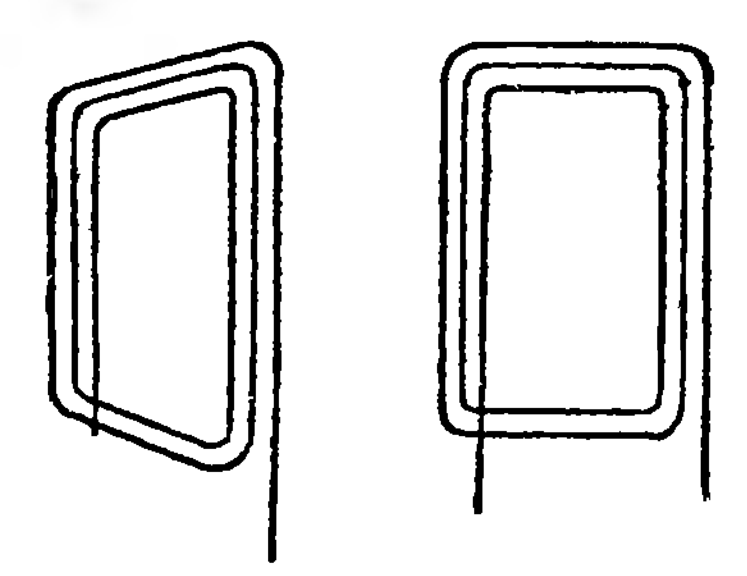


Рис. 252. Форма намотанных рассыпных катушек.

В приведенном примере рассмотрена намотка якорной секции для небольшой машины, у которой секция имеет большое число витков с проводником, диаметром от 0,10 до 0,20 *мм*.

Для более мощных машин, имеющих проводники более крупного сечения, с числом витков в секции от 2 до 4, ведут одновременно

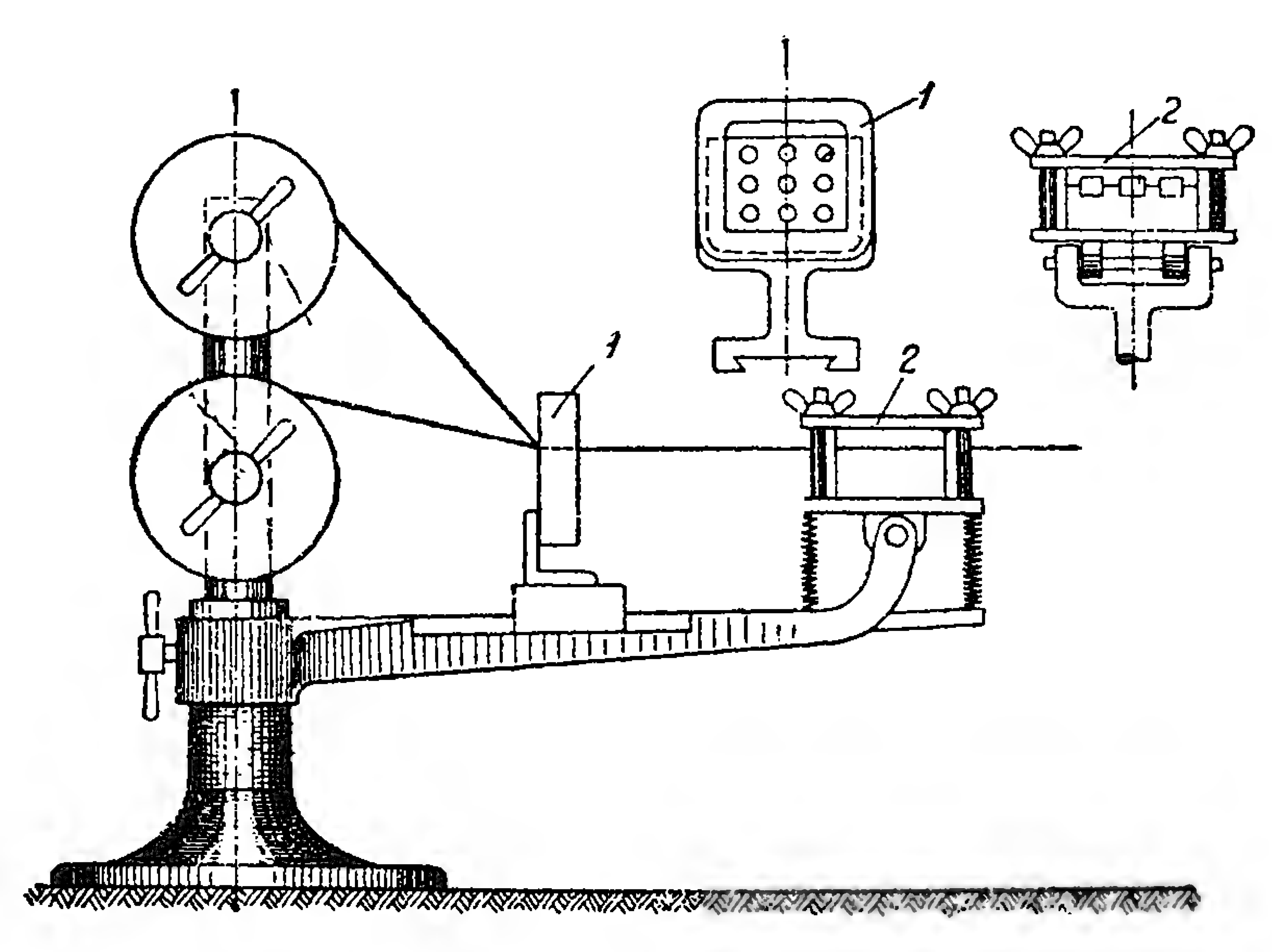


Рис. 253. Натяжное приспособление.

намотку нескольких секций одним концом с выпуском петель; иногда одновременно наматывают параллельно 3—5 проводников с разных бухт. После намотки одним концом петли разрезают и намотанные секции разъединяют. При намотке параллельно в несколько проводников после намотки приходится разъединить секции. Очень часто в этом случае намотанные секции не разъединяют, а лишь окрашивают

концы проводников, а вся секция-катушка полностью укладывается в пазы якоря через шлиц.

Иногда, кроме окраски, на концы секций надеваются «чулки» разных цветов. Окраска и надевание чулок применяется для того, чтобы в процессе укладки не произошло неправильного соединения концов обмотки с коллектором. Вид намотанных рассыпных обмоток показан на рис. 252.

На рис. 253 показано натяжное приспособление для намотки рассыпных секций якорей машин постоянного тока, применяемое на ХЭТЗ.

Проводники с барабанов проходят через отверстия устройства *1* и далее поступают под зажимное приспособление *2*, сделанное из гэтинакса; барашками осуществляется зажим проводника.

Надевание чулочной ткани на проводники производится специальной иглой. При намотке секции чулочную ткань надевают четырех различных цветов сразу на 4 проводника.

Б. Заготовка секций на раздвижном универсальном шаблоне

Универсальный шаблон (рис. 254) по своей конструкции весьма прост и очень удобен для намотки различных типов обмотки. В произ-

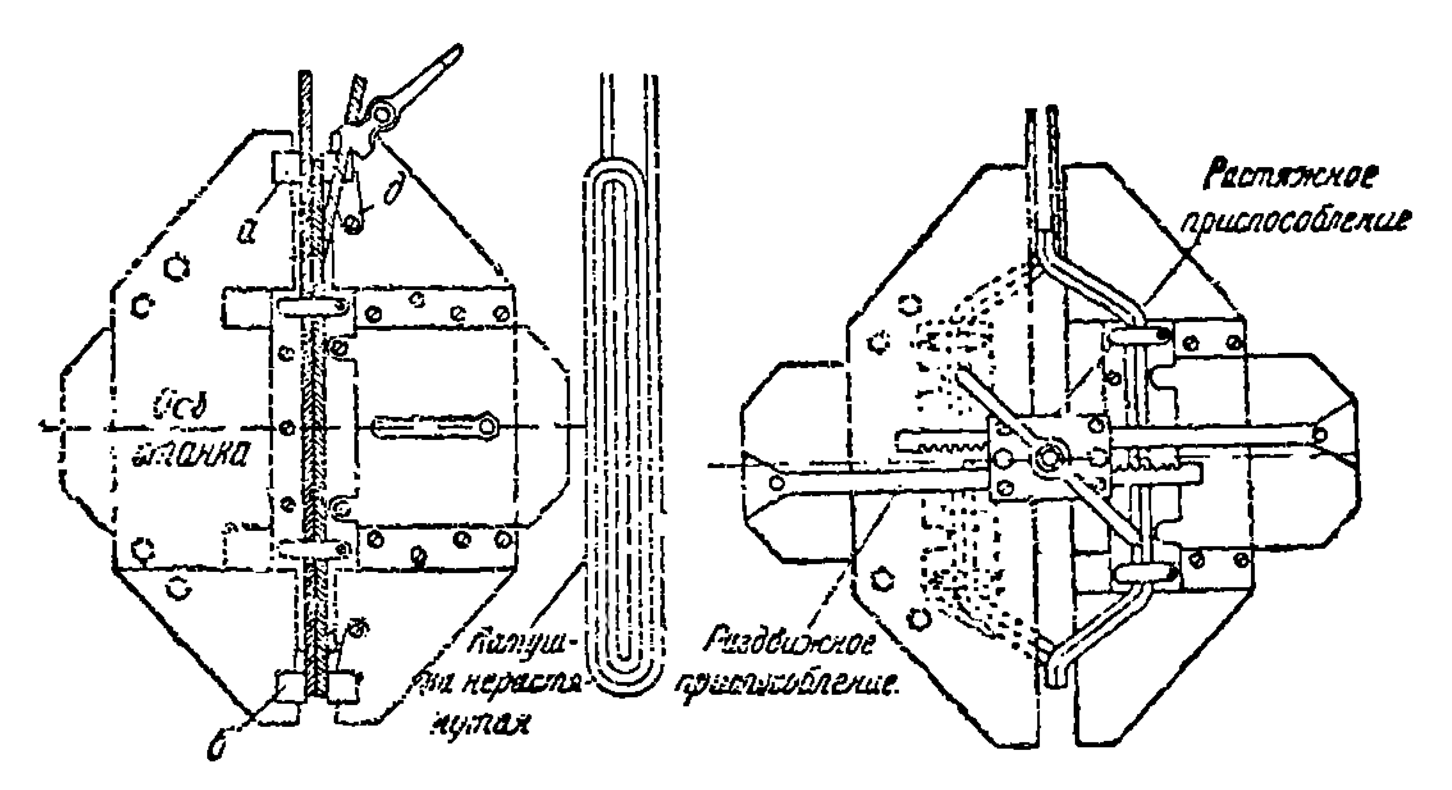


Рис. 254. Универсальный шаблон.

водственном отношении это имеет большое значение, так как всякая перестановка и заготовка отдельных шаблонов связана с большой затратой времени. Изготовление секций на универсальном шаблоне состоит из двух операций: намотки петли и ее растяжки. Шаблон для намотки представляет собой вырезанный по специальной форме лист, составленный из двух частей. Между этими двумя частями вставляются определенного размера кулачки *а* и *б*, положением которых определяется длина секции. Кулачки передвигаются между двумя частями листа по особым направляющим буртикам. Их можно установить на требуемое расстояние для намотки секций определенной длины. Когда секция намотана, правая половина шаблона может быть раздвинута при помощи растяжного приспособления (рис. 254 справа).

Чтобы намотать одновременно, например, три секции, необходимо медь, находящуюся в одной бухте, перемотать на три отдельных барабана. Барабаны должны быть укреплены на специальных осях, на которых они могут свободно вращаться. Медь с барабанов будет поступать тремя отдельными проволоками, идущими параллельно к намоточному приспособлению. Натяжение проволоки регулируется зажимным устройством, прикрепленным к полу.

Обычно намотчик изготовляет первую пробную секцию, на которой учитывает все недостатки установки. Чтобы изготовить пробную секцию, необходимо сделать предварительный подсчет длины и ширины секции и установить кулачки согласно полученным размерам.

Радиус кулачков должен быть определенной величины, так как он определяет радиус головки секции. Если радиус кулачков окажется недостаточным для данной секции, то его следует увеличить путем подкладки прессшпана или картона.

Рис. 255. Катушка шаблонной обмотки.

Пусть, например, требуется намотать секцию по размерам, приведенным на рис. 255. Длина секции в нерастянутом состоянии будет равна: 135 *мм* (длина прямой части) $+ 2 \cdot 95$ *мм* (две длины лобовых частей) $+ 4 \cdot 2{,}5$ *мм* $= 10$ *мм* (длина частей в четырех закруглениях). Всего получится: $135 + 190 + 10 = 335$ *мм*.

Установив наружные точки кулачков на указанное расстояние друг от друга и закрепив их планками *д*, приступают к намотке секции.

Берут три проводника и отмеряют концы, необходимые для присоединения к коллектору. Из рис. 255 видно, что длина их может быть подсчитана как сумма следующих отрезков: длина перехода с прямой части (пазовой) на лобовую + длина лобовой части + + длина перехода от лобовой части к головке + длина головки + расстояние от головки до коллекторной пластины (принимается приблизительно от 15 до 20 *мм*) + длина шлица коллекторной пластины.

Концы трех проволок прикрепляют к раздвижной раме приспособления, как указано на рис. 254, и, пустив станок в ход, наматывают требуемое количество витков, следя за тем, чтобы все три проволоки ложились прямо. Перекрещивания проволок допускать не следует, так как это увеличит размеры секций и при дальнейших операциях, в особенности при опрессовке пазовой части, может получиться продавливание изоляции витков, влекущее за собой соединение между витками.

Вторые концы наматываемых секций выпускают длиннее первых на 25—30 *мм*, учитывая, что они будут выходить из под низа секций и проходить по верху лобовой части в шлиц коллекторной пластины (для петлевой обмотки этот конец будет меньше, чем для волновой, на 10—20 *мм*).

Намотанную секцию связывают в приспособлении в восьми местах шпагатом или хлопчатобумажной лентой, для того чтобы витки не

рассыпались. Эти временные скрепления накладываются еще ранее — на нерастянутую секцию.

Для растяжки секции скобочки *д* (рис. 254) отводят в стороны, чтобы кулачки *а* и *б* имели возможность двигаться. Затем ставят растяжное приспособление и растягивают намотанную секцию так, как указано на рисунке.

Обычно величина растяжки секции делается несколько более величины, указанной в чертеже, так как приходится считаться с упругостью меди. После растяжки кулачки, а также секцию вынимают из приспособления и проверяют ее размеры. Убедившись в правильности размеров, производят дальнейшую намотку.

В. Изолировка многовитковых секций

Изолировка обмотки якорей бывает различная в зависимости от рабочего напряжения машины и от тех условий, в которых она будет работать. Лобовые части изолируются или одной хлопчатобумажной лентой, или лакотканевой лентой, а поверх нее хлопчатобумажной. Пазовая часть изолируется или хлопчатобумажной лентой, или микафолием.

Различают несколько способов наложения изоляционной ленты для скрепления витков: половинную нахлестку и четверть нахлестки. При наложении ленты в полнахлестки обороты ее ложатся краем примерно на середину предыдущего оборота. Здесь общая толщина наматываемой ленты равна двойной ее толщине. При наложении ленты в четверть нахлестки перекрывание происходит лишь на четверть предыдущего слоя.

Микафоливая изоляция, как наиболее стойкая, делается с таким расчетом, чтобы она служила более продолжительный срок и имела так называемый запас электрической прочности. Запас этот определяется при испытании машин высоким напряжением (см. дальше — испытания обмоток на корпус).

Заготовленные секции изолируются вместе миткалевой лентой, шириной от 10 до 20 *мм*, в зависимости от размеров самой секции. Толщина ленты 0,12—0,15 *мм*. Обороты ленты ведут в полнахлестки как в пазовой, так и в лобовой части.

Изолировка лентой производится вручную. Для этого заранее заготовляются куски миткалевой ленты такой длины, чтобы они могли покрыть в полнахлестки половину секции.

Длина эта устанавливается опытным путем. Начало изолировки ведут от лобовой части, отступая 20—25 *мм* от головки, причем на концы, присоединяемые к коллектору, предварительно надевают хлопчатобумажную оплетку, так называемый чулок.

Стыки кусков ленты следует производить в лобовых частях, но ни в коем случае не в пазовой, так как это создает нежелательную здесь дополнительную толщину.

Во время изолировки необходимо следить за тем, чтобы не было перемещения витков в секции. Для этого лучше снимать связки секций последовательно — сперва с одной стороны, а затем с другой, но не сразу со всей катушки, чтобы она не распалась во время этой операции.

При отсутствии на концах секции чулка изолировка концов ведется хлопчатобумажной лентой от конца вглубь секции и заканчивается под началом пазовой изоляции. Изолированные указанным способом секции пропитывают лаком воздушной сушки, опуская их в ванну с лаком. При этом следует наблюдать за тем, чтобы на голые концы секции, которые будут закладываться в шлиц коллекторных пластин, не попал лак, так как очистка слоя лака с концов при вкладке их в шлиц отнимает у обмотчика лишнее время.

После пропитки секции просушивают на воздухе, для чего их складывают в определенном порядке в специальную металлическую корзину над ванной, куда и стекают излишки лака.

Время сушки зависит от состава лака и обычно длится от 1-го до 2-х часов.

Г. Придание формы лобовым частям секций

Требуемую форму лобовым частям придают на специальном деревянном шаблоне, показанном на рис. 256. Закругление его соответствует диаметру изолированного обмоткодержателя. В канавку шаблона вставляют по очереди каждую из сторон лобовых частей и производят выгиб их легким постукиванием деревянным ручником.

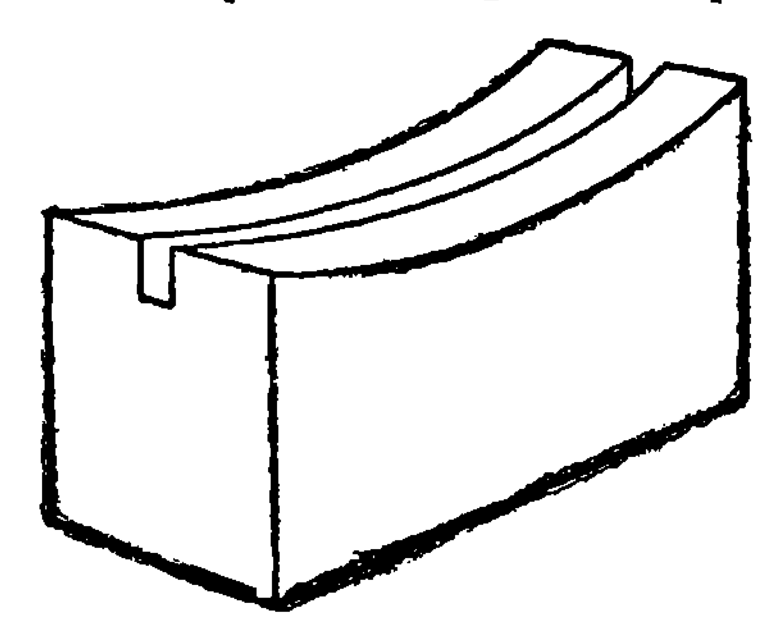


Рис. 256. Деревянный шаблон для отгиба лобовой части.

Эту операцию следует производить осторожно, не допуская сильных ударов, так как иначе можно повредить изоляцию витков, что в дальнейшем может привести к браку (так называемое витковое соединение). После выгибания шаблон поступает на холодный пресс для предварительной опрессовки пазовой части.

Д. Изолировка секций микафолием

Секции после сушки поступают на изолировку пазовой части. Изоляционным материалом здесь служит микафолий. По всей длине пазовой части шаблона навертывают от 4 до 6 оборотов микафолия, толщиной 0,10—0,15 *мм* (число оборотов микафолия зависит от заданной толщины микафолиевой изоляции). Длина листа микафолия должна быть больше активного железа якоря на 10 *мм* на сторону. Например, если длина железа равна 100 *мм*, то длина листа должна быть 120 *мм*. Ширина листа микафолия устанавливается путем примеривания с таким расчетом, чтобы она могла перекрыть секции поверх ленты от 4 до 6 раз.

Обертывание секций микафолием нужно производить осторожно, так как микафолий может быть хрупким. Если он достаточно гибок, можно производить навертку (загибку) в холодном состоянии. Если же микафолий недостаточно гибок, его следует сперва нагреть до размягчения и затем производить навертку. Нагрев нарезанных листов микафолия можно производить на электрической печке. Листы мика-

фолия не следует класть непосредственно на поверхность печки, а необходимо подкладывать под них лист асбеста.

Для закрепления микафолия на пазовой части обернутые секции обматывают поверх микафолия хлопчатобумажной лентой вразбег (т. е. слои ленты не перекрывают друг друга). Назначение ленты — предохранить микафолий от разворачивания, придать его слоям твердость и плотность прилегания друг к другу, что облегчает подогрев и опрессовку секций.

Е. Опрессовка и выпечка

Когда поверх микафолия наложена лента, секции поступают на подогрев. Для этого их закладывают в нагревательное приспособление, откуда они в горячем состоянии поступают под пресс. Подогрев секций необходим при опрессовке пазовой изоляции в холодных прессах. При опрессовке в горячих (обогреваемых) прессах предварительного подогрева не производят.

Пресс охватывает прямую часть секций прессовыми планками, зажимающими секции. Прессовые планки устанавливаются под размер как по высоте, так и по ширине секций, включая и микафолиевую изоляцию. В этом процессе подогрев требуется для выпаривания остатков растворителей шеллака, а также и для лучшей склейки слоев микафолия друг с другом.

Продержав под прессом положенное время, секции вынимают и их размеры проверяют. Ширина опрессованных секций должна быть менее ширины паза от 0,4 до 1 *мм*, чтобы в паз можно было проложить коробочку, предохраняющую пазовую изоляцию секций от повреждения, могущего произойти от встречающихся в пазах острых краев железа и заусенцев. По высоте два слоя секции должны быть менее глубины паза на 1—2 *мм*, чтобы при вкладке их в паз имелась возможность вложить прокладки из прессшпана и закрыть коробочку.

Кромка, получающаяся от конца микафолиевого листа, делается обычно сверху секций.

Иногда же, если по высоте нехватает места, а по ширине его достаточно, можно кромку установить сбоку секций. В этом случае последний оборот листа микафолия должен итти снизу секций в направлении, обратном опусканию их, чтобы при вкладке секций в паз микафолий не обдирался.

Готовая опрессованная катушка проверяется на обрыв каждой секции по схеме, приведенной на рис. 257, от сети, напряжением 120 или 220 V. Одновременно проверяется отсутствие соединения секций друг с другом.

Эта проверка производится следующим образом. Через лампочку подводят два провода к началу и концу каждой секции. Если катушка исправна, то лампочка будет гореть только при соединении с концами *1—1*, *2—2* и *3—3* правой и левой стороны каждой секции. Если же лампочка горит при присоединении и к другим концам, то это указывает на имеющееся соединение между секциями. Если присоединенная к одному концу секции правой стороны лампочка не горит при соединении с любым концом левой стороны, то это указывает на обрыв провода внутри секции.

При проверке на обрыв нужно также убедиться в том, что концы секции не перепутаны (перекрещены) внутри шаблона.

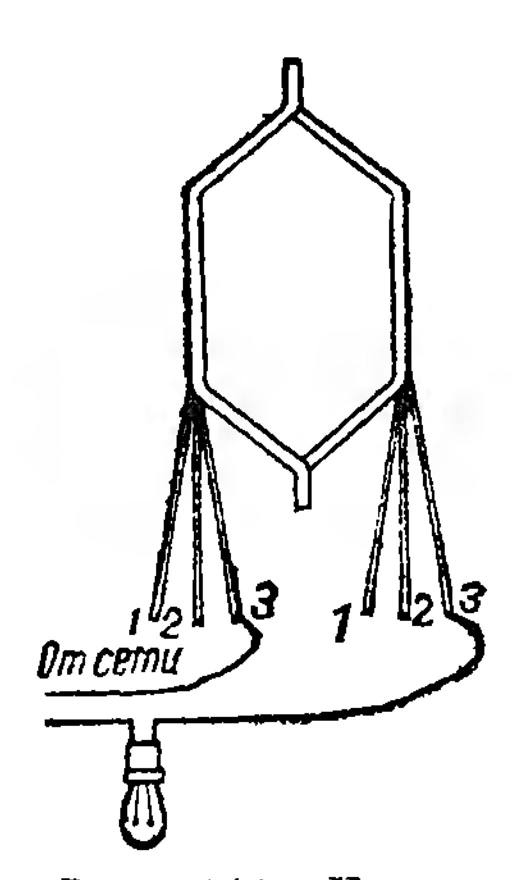


Рис. 257. Испытание секций на обрыв.

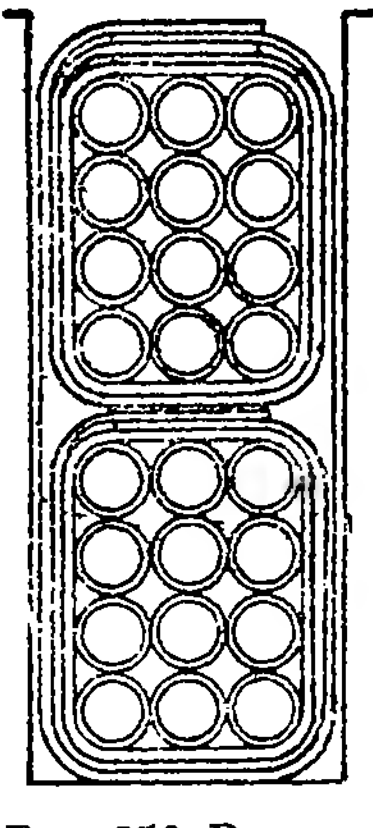


Рис. 258. Разрез паза с вложенными секциями.

При отсутствии перекрещений, так называемых крестов, лампочка должна гореть только при присоединении к концам *1—1*, *2—2* и *3—3*, как указано выше.

На рис. 258 показан разрез паза якоря с вложенной в него обмоткой, где видно расположение проволок и слоев микафолия.

2. ИЗГОТОВЛЕНИЕ СТЕРЖНЕВЫХ ОБМОТОК ЯКОРЕЙ ПОСТОЯННОГО ТОКА

А. Заготовка стержневых секций

Стержневые обмотки якорей изготовляются из голой меди прямоугольного или квадратного сечения.

Бухты голого медного проводника надеваются на деревянные конусные барабаны, на которых они свободно вращаются и разматываются. С бухтой проводник поступает к специальным приводным ножницам для нарезки отдельных стержней. Длина стержней устанавливается путем установки упора до места от реза стержня, с таким расчетом, чтобы из него можно было изготовить целиком полную петлевую или волновую секцию.

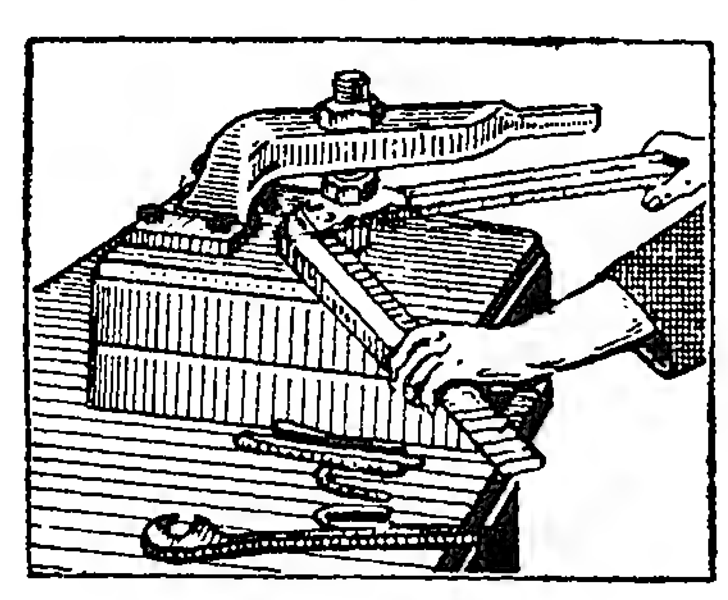


Рис. 259. Выгиб головки.

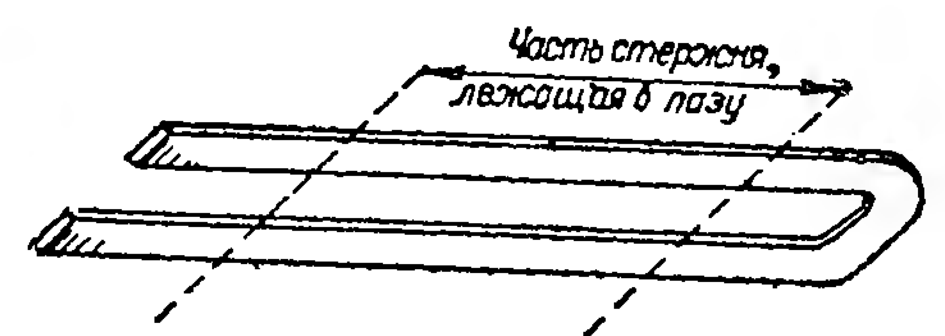


Рис. 260. Изогнутый стержень.

После нарезки требуемого количества стержней производят их рихтовку, т. е. им придается прямолинейность. Это производится на железной плите, о которую ударяют несколькими стержнями, наложенными друг на друга широкой гранью. Затем производят рихтовку каждого отдельного стержня постукиванием деревянным молотком по всей длине стержня. Таким образом медь выравнивается, после чего она поступает на последующие операции.

Рассмотрим изготовление стержневых якорных секций волновой обмотки.

В отрихтованных стержнях делают выгиб головки. Эта операция выполняется на специальном приспособлении, изображенном на рис. 259. В приспособление вставляется головка с требуемым размером радиуса закругления и вокруг нее загибается стержень. Загиб производится при помощи двух рукояток. Стержень в своей средней части получает изгиб, показанный на рис. 260.

Загнутые стержни поступают на лужение концов. Концы стержней залуживаются на длину 20—25 *мм*. Лужение производится обычно в специально отведенном помещении, где установлена ванна с серной кислотой, расплавленным оловом и проточной водой.

Опустив концы стержней в кислоту для очистки и продержав их в ней 5—10 сек., переносят стержни в ванну с расплавленным оловом, где также выдерживают от 5 до 10 сек. Затем, вынув стержни из оловянной ванны, концы их очищают от избытков олова щетками, приводимыми во вращение электродвигателем, после чего стержни промывают в проточной воде для удаления остатков кислоты.

Лужение концов должно быть выполнено тщательно. Хорошее лужение обеспечивает хорошую пайку концов стержней с коллекторной пластиной или петушком. Иногда лужение, произведенное один раз, является недостаточным, что определяется по внешнему виду — по имеющимся пятнам. В таком случае процесс лужения повторяется.

Б. Выгиб секций

Придание секции требуемого очертания производится на специальном приспособлении, изображенном на рис. 261. На нем выполняется вся работа по загибу одновитковой секции из стержня как прямоугольной, так и квадратной меди.

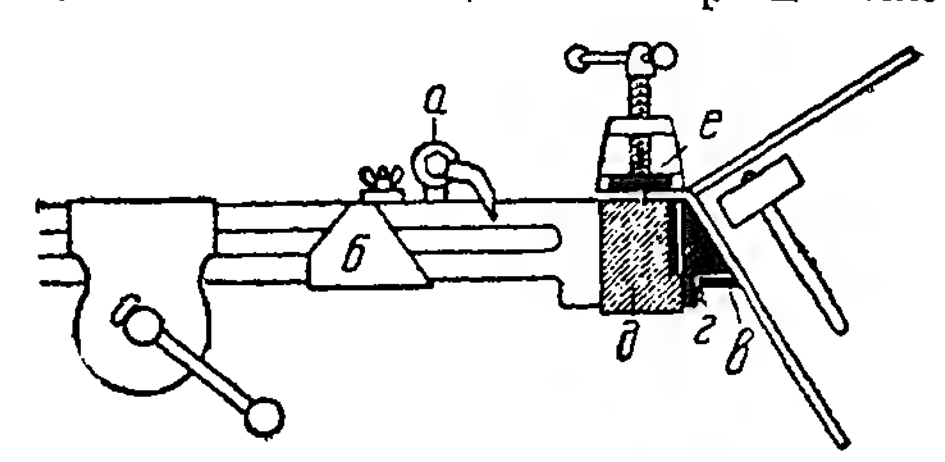


Рис. 261. Приспособление для выгиба секций.

Приспособление, как видно из рисунка, зажимается в тисках. На длинной его части помещается собачка *а*, которая может передвигаться вдоль рамы приспособления и закрепляться в любом положении болтами. На раме сбоку помещается пятиугольник *б*, который при помощи болта может быть закреплен также в любом положении, в зависимости от требуемого угла загиба. Назначение собачки и пятиугольника—дать упор загибаемому стержню. К основной части приспособления прикрепляется конус *в*, который имеет определенный угол, необходимый для данной секции. Конус прикреплен к основанию *д* при помощи болта *г*. Для загиба разных секций имеется набор конусов с различными углами. К основной части приспособления прикреплена подвижная пластинка *е* с нажимным болтом, служащая для закрепления головки секции. Чтобы придать определенный размер по длине, головку секции помещают на основание и зажимают при помощи пластины *е* и болта, как показано на рис. 261.

Ударами деревянного ручника делают отгиб лобовой части сперва одной стороны секции, а затем, перевернув ее, точно так же отгибают лобовую часть на второй стороне секции.

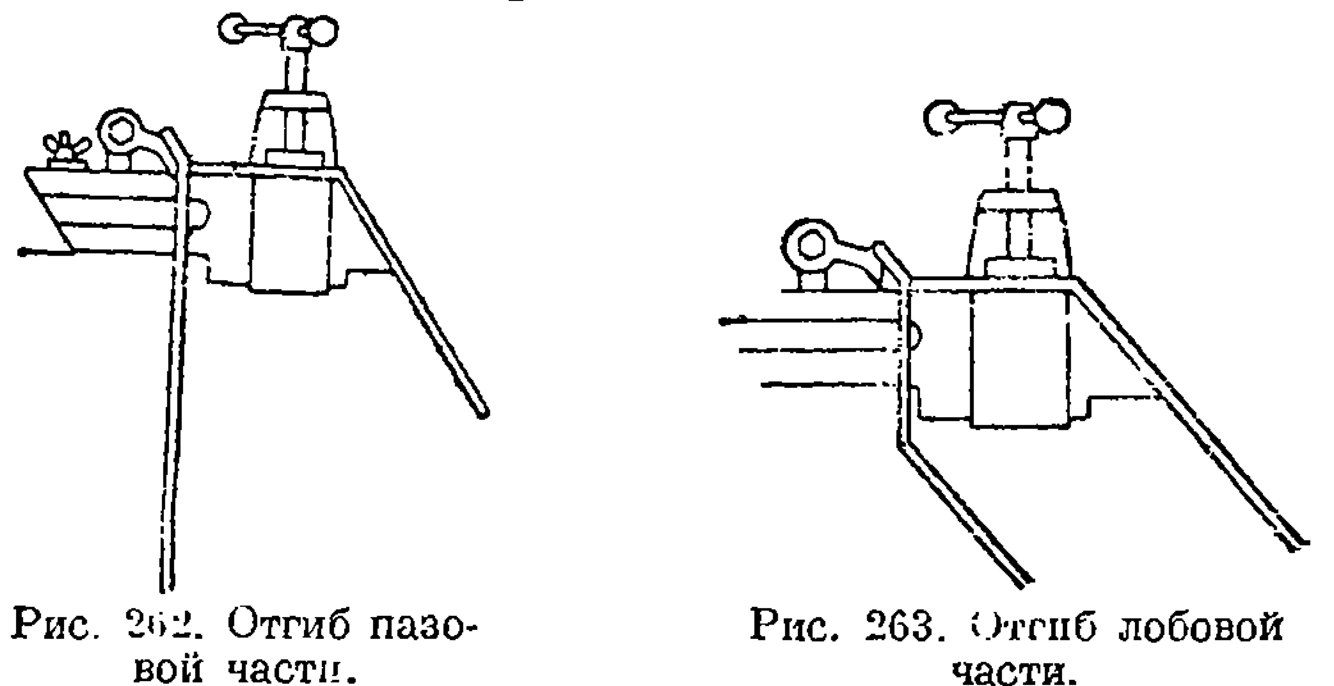


Рис. 262. Отгиб пазовой части.

Рис. 263. Отгиб лобовой части.

На рис. 262 изображен отгиб прямой (пазовой) части секции. На рис. 263 изображен отгиб лобовой части второй стороны секции. Здесь головка упирается в собачку, закрепленную на приспособлении. На рис. 264 показан отгиб лобовой части секции с наружной стороны. Для отгиба лобовой части верха секций с задней и передней сторон необходимо закрепляющую собачку отдвинуть влево на 5—8 *мм* и тем самым увеличить длину верхней лобовой части по сравнению с нижней. После этого проверяют размеры загнутой секции. Установив их правильность по чертежу, изготовляют все остальные секции вышеописанным способом.

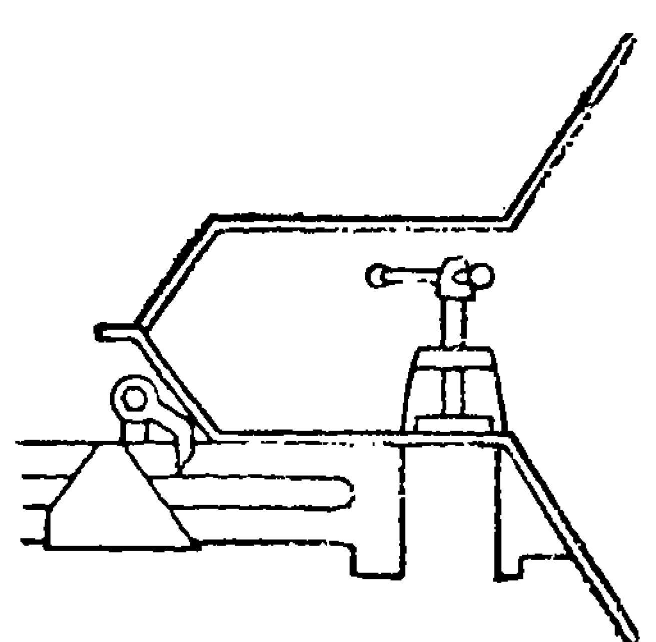


Рис. 264. Отгиб лобовой части передней стороны.

После изгиба сторон секции делают выгиб лобовых частей. Этот выгиб производится на деревянном шаблоне, показанном на рис. 255. Выгибом лобовой части обмотки достигается плотное и равномерное

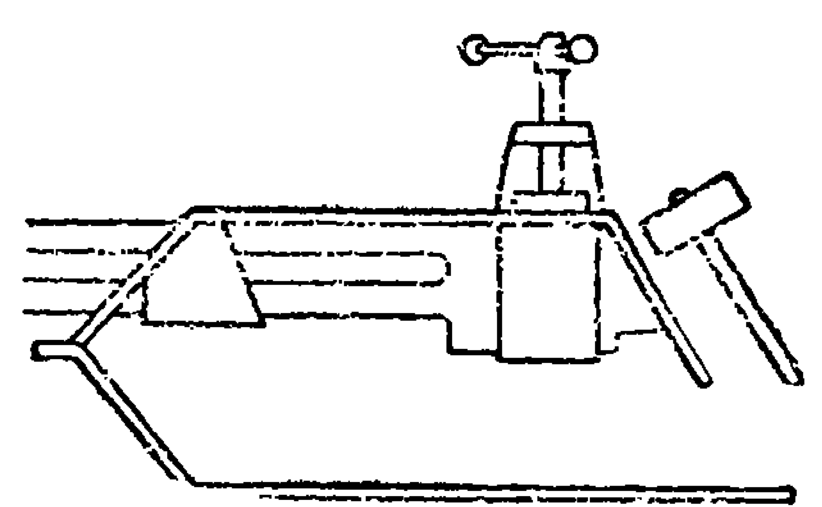


Рис. 265. Отгиб лобовой части петлевой обмотки.

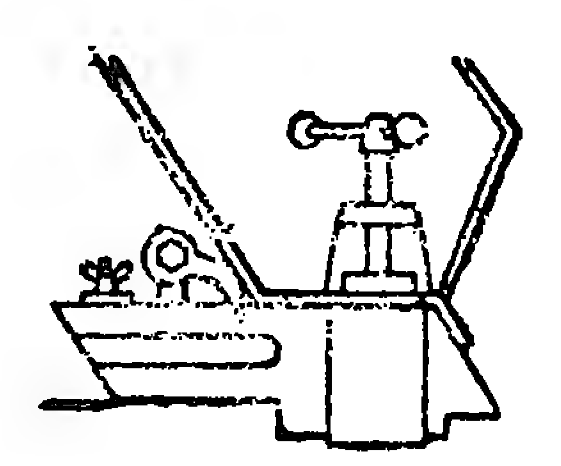


Рис. 266. Отгиб лобовой части петлевой обмотки.

прилегание лобовой части к изолированному обмоткодержателю. После выгиба лобовых частей концам, идущим на соединение с кол-

лектором, придают такое направление, чтобы они были параллельны пазовой части секции.

Здесь дано описание заготовки стержневой волновой обмотки, но на указанном приспособлении можно производить все операции по выгибу секций петлевых обмоток. Отдельные моменты этих операций показаны на рис. 265 и 266.

В. Выгиб полусекций

При заготовке якорной обмотки, состоящей из полусекций, необходимо нарезать половину стержней на 5—10 *мм* длиннее остальных. Из удлиненных стержней выгибаются верхние полусекции; так как они расположены в якоре на окружности большего радиуса, чем нижние, их лобовые части будут несколько длиннее нижних.

Рис. 267. Приспособление для отгиба лобовой части полусекций.

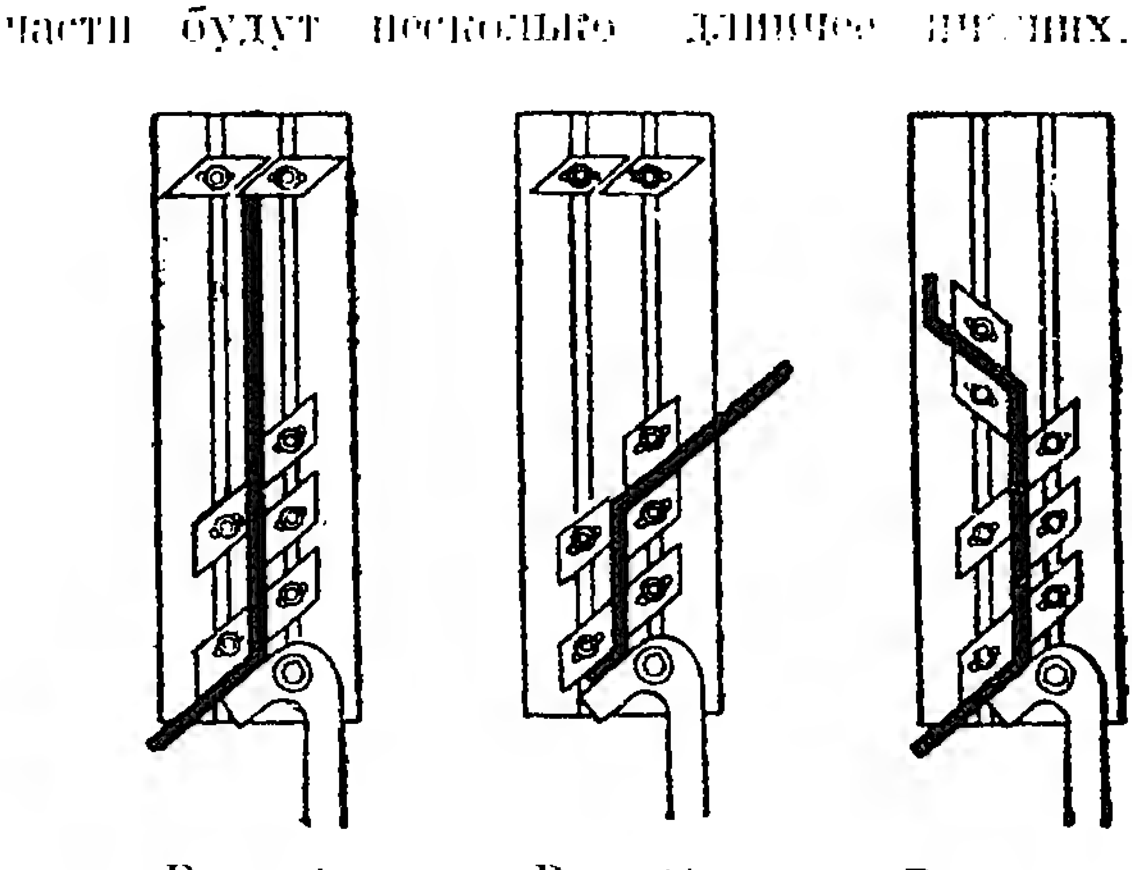


Рис. 268. Отгиб лобовой части полусекции.

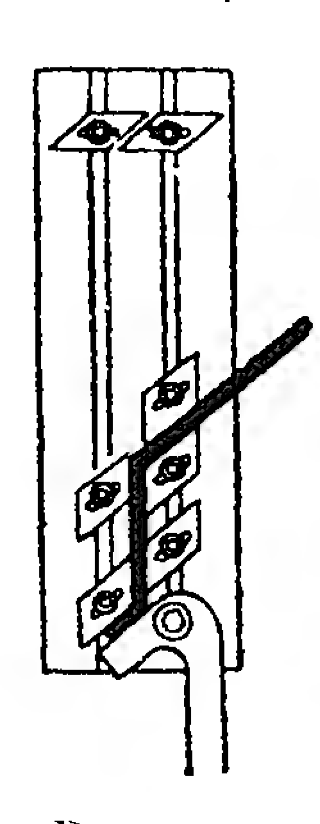


Рис. 269. Отгиб головки полусекции.

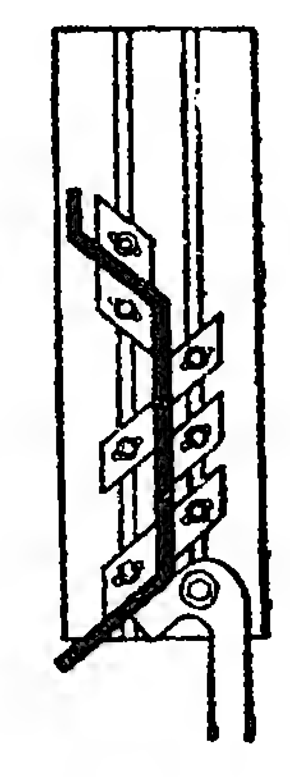


Рис. 270. Отгиб лобовой части полусекции.

Отгибы лобовых и пазовых частей такой обмотки производятся на приспособлении, показанном на рис. 267. Приспособление это представляет собой железную плиту *а*, имеющую два продольных паза $б_1$ и $б_2$, по которым можно передвигать пластины $г_1$ и $г_2$ и закреплять их при помощи болтов *в* в любом положении. К железной плите в начале паза прикреплен рычаг *д*, которым можно прижимать отгибаемую часть стержня полусекции под определенным углом. Угол отгиба устанавливается положением пластин *г*.

На рис. 268 показано одно из расположений пластин $г_1$ и $г_2$ на железной плите. Прижимая рычагом стержень к установленным пластинам *г*, отгибают лобовую часть полусекции с одной стороны. Из рисунка видно, что прямой конец стержня упирается в задние пластины, а рычаг *д* отогнул лобовую часть.

Перевернув секцию и придав ей положение соответственно установленными пластинами (рис. 269), отгибают конец с одной стороны полусекции. Установив затем планки соответствующим образом,

укладывают между ними стержень и отгибают лобовую часть второй стороны (рис. 270), после этого отгибают второй конец стержня, как указано на рис. 269.

Г. Изолировка стержневых секций

Первый вариант. Для одновитковых секций как на пазовую, так и на лобовую части накладывается по всей их длине миткалевая лента, шириной 15 *мм* и толщиной от 0,12 до 0,20 *мм*, в полнахлестки. Выполняется это вручную или на специальном изолировочном станке, показанном на рис. 271.

При изолировке вручную длина ленты устанавливается путем примерки с расчетом на изолировку половины секции. По этому образцу нарезается требуемое количество кусков ленты. Начало изолировки ведется от загиба залуженных концов. Стыки двух встречающихся концов ленты делают около головки на лобовой части секции.

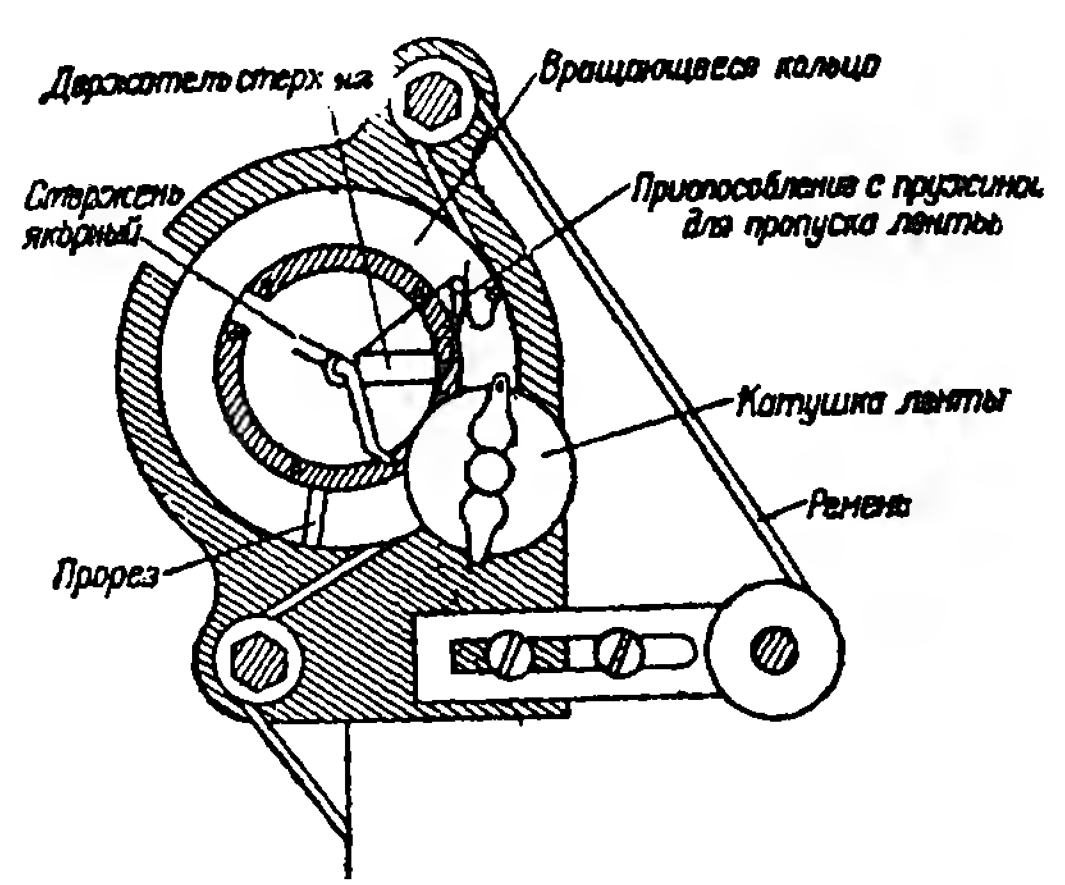


Рис. 271. Изолировочный станок.

Работа на изолировочном станке производится следующим образом.

На станине станка имеется кольцо, приводимое во вращение от электродвигателя посредством ремня. Кольцо имеет прорезь для прохода секции. На кольце укреплена ось, на которой можно укрепить катушку ленты и закрепить ее.

Катушка таким образом будет вращаться вместе с кольцом и обегать вокруг секции, наматывая на нее ленту. Передвигая секцию горизонтально, наматывают ленту по всей длине ее. Изолированные лентой секции передаются или в пропитку, или на окраску лаком воздушной сушки и после просушки поступают на укладку в пазы.

Второй вариант предусматривает выполнение изоляции для электрической машины, которая должна работать в сыром помещении. В соответствии с этим изоляция здесь усиливается. Вместо хлопчатобумажной ленты вся секция покрывается в полнахлестки лентой лакоткани, толщиной 0,15 *мм* и шириной 15 *мм*. Лобовые части обеих сторон поверх лакоткани изолируются хлопчатобумажной лентой в полнахлестки. Наложение ленты на стороне концов ведется от залуженной их части и оканчивается на прямой части. Последние два оборота ленты накладываются в стык. На стороне головки лобовая часть изолируется, начиная с прямой части, и оканчивается также на прямой части противоположной стороны, пройдя через головку.

Наложение хлопчатобумажной ленты ведется в сторону, противоположную ленте из лакоткани, чтобы не произошло разворачивания

ленты. Концы хлопчатобумажной ленты закрепляются лаком или декстрином.

На пазовую часть накладывается в несколько оборотов микафолий аналогично тому, как указывалось выше, но каждый оборот наложенного микафолия проутюживается горячим утюгом.

Изолированная секция поступает на опрессовку и выпечку в прессах.

Время выпечки зависит от размеров самого стержня и наложенной на него микафолиевой изоляции. После выпечки секции, находящейся еще в прессе, дают остыть и по охлаждении ее вынимают. Лобовые части покрывают сверху жидким асфальтовым лаком воздушной сушки и секция считается готовой для укладки в пазы якоря.

Изолировка полусекций из двух стержней производится следующим образом.

Каждый стержень полусекции изолируется миткалевой лентой, шириной от 15 до 20 *мм* и толщиной 0,15 *мм*, в полнахлестки, как указывалось выше. Затем комплектуются вместе по две полусекции и перевязываются в двух местах шпагатом или лентой (верхние стержни связываются отдельно от нижних во избежание возможности спутывания их). Различить стержни в случае спутанности можно, во-первых, по длине и, во-вторых, по выгибу радиуса. Скомплектованные секции пропитываются лаком и высушиваются в течение определенного времени, после чего они поступают на дальнейшую изолировку.

Пазовая изоляция выполняется из микафолия так же, как указывалось выше.

Для машин, работающих в сырых помещениях, усиливают изоляцию лобовых частей, т. е. покрывают их лакотканевой лентой, а поверх нее — хлопчатобумажной лентой.

Скомплектованные полусекции изолируют на лобовых частях миткалевой лентой, шириной 15 *мм* и толщиной 0,15 *мм*.

Изолировка лобовых и пазовых частей, а также опрессовка и выпечка их производятся так же, как описано выше.

Третий вариант. Секции обмоток якорей крупных машин (например агрегатов прокатных станов) состоят из стержней прямоугольного сечения, изоляция которых выполняется следующим образом.

По всей длине стержня накладывают изоляцию из микаленты непрерывно в полнахлестки. Помимо этого на пазовую часть накладывается микафолий. После этого отдельные стержни комплектуются в полукатушки, состоящие из 2-х или 3-х стержней, и на их общую пазовую часть накладывается изоляция, состоящая из нескольких оборотов микафолия; каждый оборот наложенного микафолия проутюживается горячим утюгом. После наложения микафолия пазовую часть полукатушки обертывают кабельной или телефонной бумагой, и она поступает на опрессовку и выпечку в горячих прессах, где будет придан ей определенный размер по ширине и высоте; кроме того, в процессе выпечки испарятся излишки растворителей. Время выпечки зависит от размеров самой полукатушки и наложенной на пазовую часть изоляции.

3. ИЗГОТОВЛЕНИЕ УРАВНИТЕЛЬНЫХ СОЕДИНЕНИЙ

А. Заготовка меди для вилкообразных уравнительных соединений

Вилкообразные уравнительные соединения применяются чаще в петлевых обмотках. Они устанавливаются на стороне, противоположной коллектору, или же концы уравнительных соединений входят в хомутики петушков коллекторных пластин, являясь как бы петушками самой обмотки.

Из меди нарезаются стержни такой длины, которая соответствовала бы длине уравнительной секции (ее размеры берутся по чертежу). Нарезанные стержни поступают на рихтовку, после чего концы стержня загибаются на приспособлении для изгиба головок на ребро, как указано на рис. 259. Затем секция поступает на лужение концов. После лужения выполняют отгиб других частей таким же образом и на том же приспособлении, как и при отгибе одновитковой секции. Изогнутая уравнительная секция поступает для выгиба радиуса, что производится на деревянном шаблоне, служащем для загиба сторон секции по окружности обмоткодержателя.

Вид изготовленной секции показан на рис. 272.

Рис. 272. Секция уравнительной обмотки.

Б. Изолировка уравнительных секций

Изолировка уравнительных секций производится следующим образом. Отступая от концов на 20—25 *мм*, изолируют по направлению к головке лакотканевой лентой в полнахлестки. Стыки ленты делаются всегда по прямой части. Поверх лакоткани наматывается хлопчатобумажная лента тоже в полнахлестки. Ширина обеих лент берется не более 15 *мм*.

В. Заготовка уравнительных колец

Уравнительные кольца применяются чаще всего в секциях, имеющих волновую обмотку, и располагаются всегда на стороне, противоположной коллектору.

Для уравнительных колец применяется медь прямоугольного сечения. Заготовки медных полос нарезаются согласно чертежу и затем рихтуются. Каждую нарезанную и рихтованную полосу сгибают в кольцо и склепывают заклепками. Таким способом изготовляют все кольца.

Рис. 273. Схема уравнительных соединений.

Для примера на рис. 273 дана схема уравнительных соединений. Как видно из схемы, кольца входят одно в другое. Это условие необходимо учесть при заготовке медных полос.

Нарезанные полосы меди размечаются по концам согласно указаниям на чертеже под сверловку дыр для заклепок.

К каждому кольцу приклепываются выводы в местах, указанных на схеме рис. 273. Места клепки зачищаются от острых углов и опиливаются пилой. Склепанные концы колец залуживаются в оловянной ванне. При заготовке уравнительных колец нужно учитывать утолщение мест склепок, а также изоляцию у колец, имея в виду, что кольца должны входить одно в другое.

По окончании всех слесарных работ кольца поступают на изолировку.

Г. Изолировка уравнительных колец

Вначале изолируются выводные концы от каждого кольца. В качестве изоляции употребляют батистовую ленту. Затем изолируют кольца лакотканевой лентой, толщиной 0,20 *мм*, в полнахлестки один раз и поверх нее — хлопчатобумажной лентой. После этого все кольца комплектуются вместе, т. е. одно кольцо вкладывается в другое, и между ними помещаются прессшпановые прокладки, толщиной 0,5 *мм*.

Поверх наружного кольца помещается прессшпановая прокладка, толщиной 1 *мм*; такой же толщины прокладки ставятся и на внутреннее кольцо на его внутреннюю сторону. Далее с обеих боковых сторон прокладывается прессшпан с вырезом для выводов, после чего все кольца вместе изолируются хлопчатобумажной лентой (киперной), и кольца считаются готовыми для установки на якоре.

4. ИЗГОТОВЛЕНИЕ РОТОРНОЙ ОБМОТКИ АСИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

А. Изготовление стержней

Стержневые обмотки применяются главным образом в фазовых роторах асинхронных двигателей больших и средних мощностей.

Стержневая обмотка состоит из стержней с двумя основными видами поперечного сечения: прямоугольного и прямоугольно-полукруглого. Каждая обмотка состоит из стержней двух типов. Одни стержни при укладке в пазы занимают нижнюю часть паза, а другие — верхнюю. В зависимости от этого форма и размеры стержней этих двух типов несколько отличаются друг от друга, что и должно учитываться при заготовке стержней. Лобовая часть верхних стержней располагается поверх лобовых частей нижних стержней, поэтому верхние стержни имеют закругление лобовых частей большего радиуса, и при нарезке меди длина верхних стержней делается несколько большей, чем нижних.

Прежде чем сделать заготовку стержней, необходимо подсчитать длину выпрямленного стержня. Для этого необходимо найти длину выпрямленной лобовой части, исходя из шага обмотки и радиуса изолированного обмоткодержателя. Кроме того, следует учесть длину двух закруглений, т. е. переходов от прямой части к лобовой, и двух закруглений от лобовой части к головке, т. е. к концам стержня.

В виде примера на рис. 274 дан эскиз роторного стержня. Согласно эскизу общая длина нижнего стержня состоит из: 1) длины двух кон-

цов, идущих в хомутики, равной 2 × 20 = 40 *мм*; 2) длины двух закруглений, т. е. переходов от концов к лобовой части, равной 2 × 5 = 10 *мм*; 3) длины выпрямленных лобовых частей, равной 2 × 135 = 270 *мм*; 4) длины двух закруглений, т. е. переходов от лобовой части к прямой пазовой части, равной 2 × 5 = 10 *мм*; 5) длины прямой пазовой части, равной 300 *мм*. Таким образом общая длина нижнего стержня, т. е. заготовки, равна

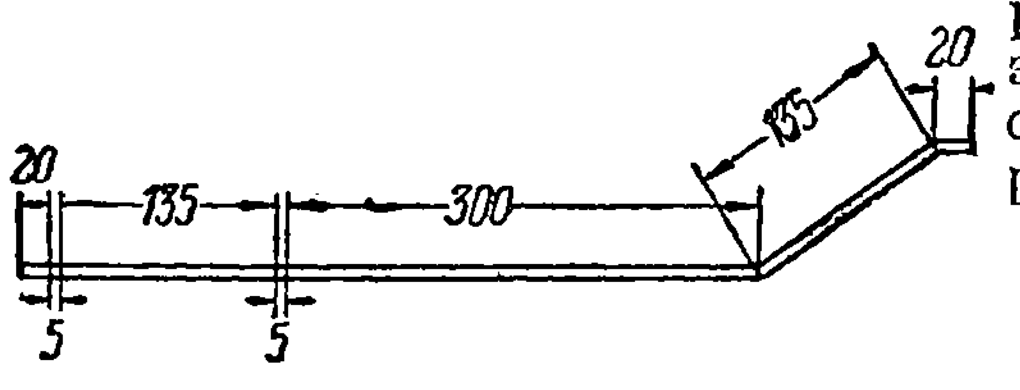


Рис. 274. Эскиз роторного стержня.

$$40 + 10 + 270 + 10 + 300 = 630 \text{ мм}.$$

Для верхнего стержня длина заготовки берется на 20—30 *мм* больше.

Обычно по полученным размерам изготовляют один нижний стержень и один верхний, на которых проверяют правильность размеров, прежде чем производить нарезку всего комплекта стержней для одного или нескольких роторов.

Материалом для роторных стержней служит электролитическая красная медь. Она должна иметь бо́льшую жесткость, чем медь изолированная, идущая для изготовления статорной обмотки.

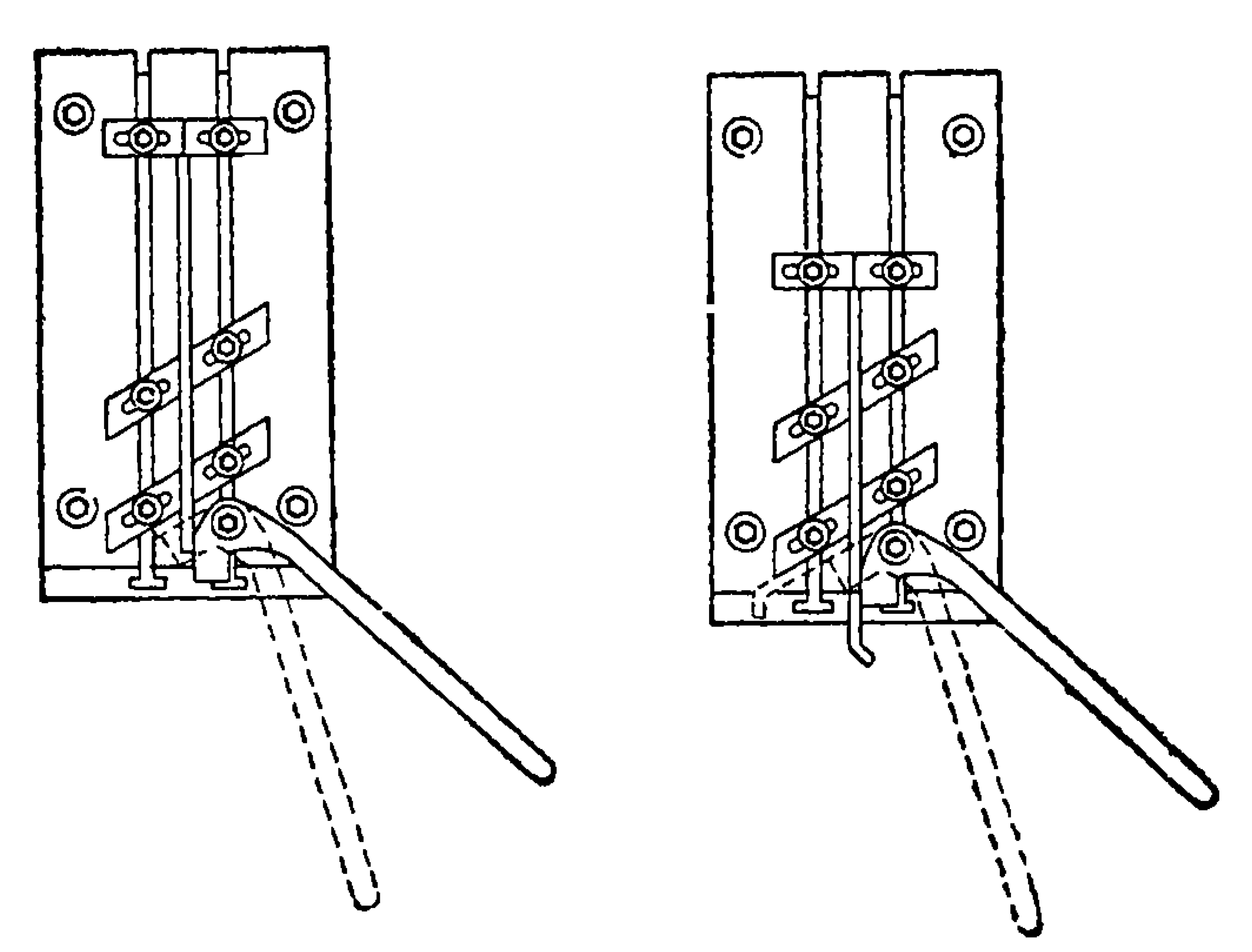

Рис. 275. Приспособление для выгиба стержней.

Рис. 276. Отгиб головки стержня.

Если согласно данным обмотка ротора должна быть выполнена с удлиненными переходами, то в зависимости от числа оборотов машины и от числа пазов ротора некоторое количество стержней нарезается более удлиненными, чем нормальные (на 20—30 *мм*). Количество удлиненных стержней заготовляют, исходя из электрических данных. В таблице приложения I в последней графе приведено количество

удлиненных стержней, требующихся для намотки ротора с различным числом оборотов, а также и в зависимости от числа пазов на полюс и фазу. В таблице приложения II приведены также данные для обмоток с укороченным переходом.

Б. Выгиб стержней

Отгибы производятся на приспособлении, указанном на рис. 267. На рис. 275 показан момент отгиба головки стержня (указано пунктиром), а на рис. 276 — момент отгиба лобовой части (также показано пунктиром).

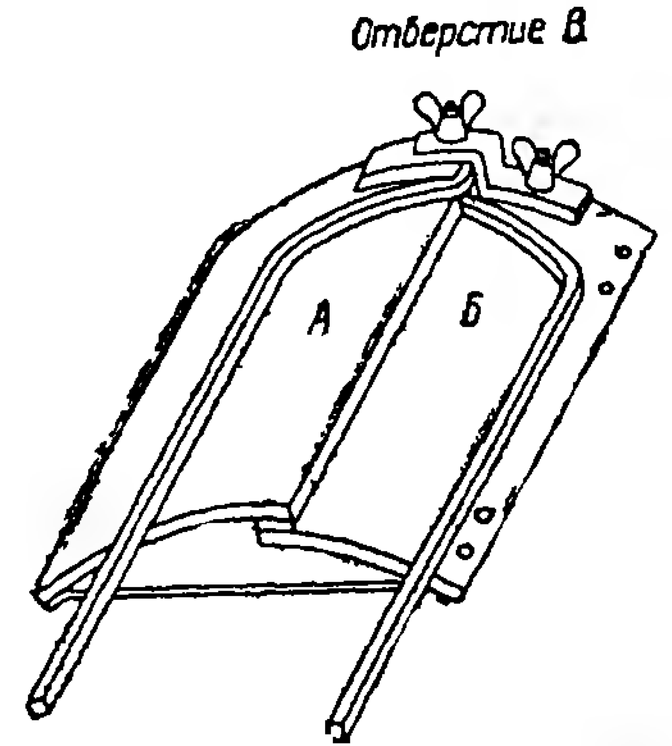


Рис. 277. Приспособление для выгиба лобовой части по радиусу.

При отгибе лобовых частей верхних стержней следует учесть, что их длина должна быть больше нижних, а поэтому установка планок должна быть изменена. Лобовые части стержней изгибаются примерно под углом 120° по определенному радиусу. Выгиб производится на приспособлении, показанном на рис. 277. На это приспособление одновременно накладываются два стержня: один — верхний — кладется на сторону *А*, второй — нижний — на сторону *Б*, причем концы их должны быть вложены в отверстие *В*. Наложенным указанным способом стержням придается соответствующая форма ударами деревянного ручника.

В. Изолировка стержней на напряжение до 300 V

Роторные стержни перед укладкой в пазы ротора должны иметь готовую изоляцию, обычно опрессованную, пазовую часть и изолированные лентой лобовые части.

Стержни изолируются различными материалами в зависимости от напряжения на контактных кольцах ротора. На рис. 278 приведены примерные данные выполнения изоляции роторных стержней. Наложенная на пазовую часть стержня изоляция опрессовывается под прессом двумя способами: 1) способ опрессовки в холодном прессе, с предварительным подогревом изоляции стержней в специальном нагревательном приспособлении, и 2) более совершенный способ опрессовки изоляции стержней в горячем прессе.

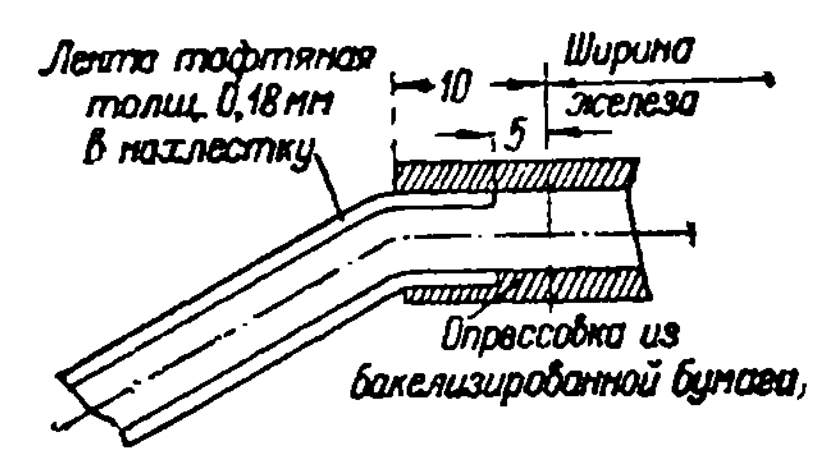


Рис. 278. Выполнение изоляции роторных стержней.

Рассмотрим изолировку роторных стержней для машины, которая имеет на кольцах напряжение до 300 V (рис. 278).

До наложения на стержни изоляции необходимо сделать разметку, т. е. отметить на прямой части каждого стержня линию, до которой следует изолировать лобовую часть, так как лобовая и пазовая части имеют различную изоляцию.

Разметка производится на специальном приспособлении, показанном на рис. 279. Приспособление имеет железное основание, на котором сверху проделан паз, где могут передвигаться два стальных острия *г* и *д*, закрепляемые в необходимом положении барашками *б* и *в*. К концу железного основания привинчена железная вертикальная пластинка *а*. Конец прямой части стержня *ж* упирается в вертикальную пластинку *а* и своей плоскостью лежит на остриях *г* и *д*.

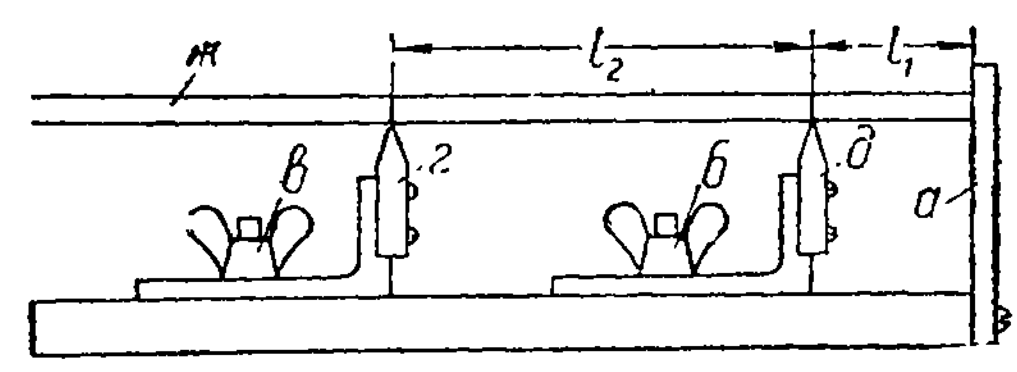


Рис. 279. Приспособление для разметки роторных стержней.

Стержнем проводят вдоль заостренных пластин и на нем остается след (риска) в виде тонкой линии. Расстояние l_1 служит концом стороны стержня, которая войдет в хомутик при соединении. Расстояние l_2 — длина, которую следует изолировать.

Размеченные таким путем стержни поступают вначале на изолировку лобовых частей хлопчатобумажной лентой, шириной 15—20 *мм* и толщиной 0,15—0,18 *мм*. Наложение ленты ведется в полнахлестки на прямой части и в три четверти нахлестки на углах загибов.

Лента накладывается вручную или на специальном изолировочном станке, который вместе со вложенным стержнем показан на рис. 271. Начало изолировки ведется от загиба концов к пазовой части, где конец ленты приклеивается при помощи бакелитового лака. Окончить наложение ленты на прямой части следует с таким расчетом, чтобы закрепленная лента была подпущена в дальнейшем под бакелизированную бумагу, накладываемую на пазовую часть на расстоянии 4—7 *мм* от загиба лобовой части.

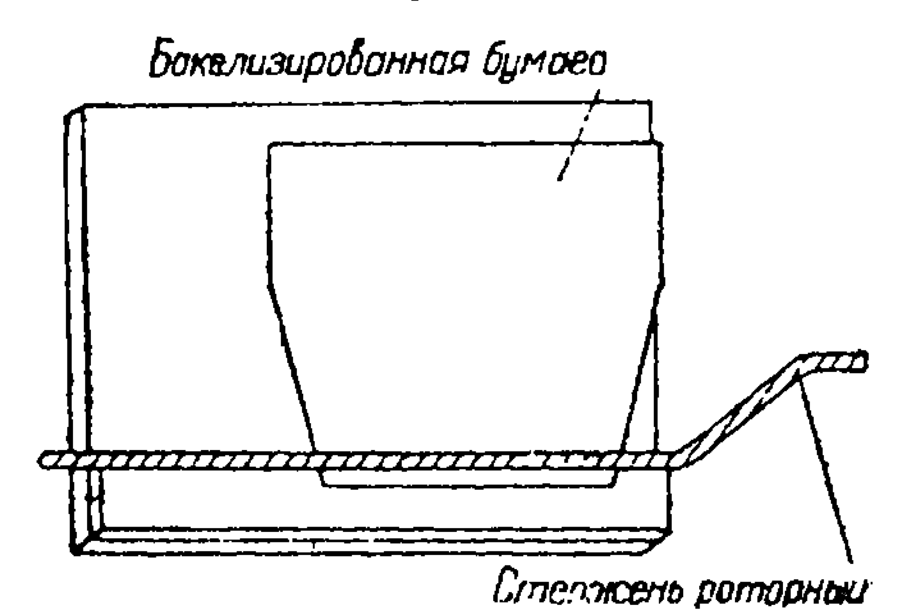


Рис. 280. Навертывание бакелизированной бумаги.

После изолировки лобовых частей пазовая часть стержней обертывается семью слоями бакелизированной бумаги, имеющей толщину 0,07 *мм*. Чтобы избежать утолщения изоляции в месте соприкосновения с лентой, бакелизированную бумагу перед наворачиванием на пазовую часть стержня срезают с двух сторон по ступенчатым или двум прямым линиям, как показано на рис. 280. Благодаря этому в той части, где бумага ложится на хлопчатобумажную ленту, получается меньше слоев бумаги, чем в пазовой части. Завертка стержней в бакелизированную бумагу производится на приспо-

соблении, показанном на рис. 280 и представляющем собой доску, к которой прибита деревянная планка. Доска и планка обиты белой жестью.

Предварительно конец бумаги намазывают бакелитовым лаком и, приклеив ее к стержню, приглаживают рукой для лучшего прилегания. Затем поджимают стержень левой рукой к планке приспособления и начинают вращать его правой рукой за отогнутую сторону. Бумага при этом плотно наворачивается на стержень. Конец бумаги также приклеивается бакелитовым лаком. Размеры изолированного стержня должны быть несколько менее соответствующих размеров роторного паза. Так, например, если ширина паза ротора 7,5 *мм*, а высота его 30 *мм*, то стержень с изоляцией должен быть 6,8 *мм* по ширине и 14,6 *мм* по высоте. Оставшиеся свободными по ширине паза 0,7 *мм* и по высоте 0,8 *мм* используются на проходную коробку из прессшпана и на двухсторонний зазор для лучшего прохождения стержня в паз. Далее стержни, изолированные в пазовой части бакелизированной бумагой, поступают на опрессовку пазовой части в прессах.

Г. Изолировка стержней на напряжение от 300 до 500 V

Изолировка роторных стержней с напряжением на контактных кольцах от 300 до 500 V производится следующим образом. Лобовые части изолируются один раз в полнахлестки лентой из льноткани, толщиной 0,15—0,20 *мм*, поверх которой накладывается хлопчатобумажная лента, толщиной 0,15—0,18 *мм*. Концы обеих лент оканчиваются на пазовой части ступенчатообразно, что видно из рис. 281.

Рис. 281. Эскиз изолировки роторных стержней.

После нанесения изоляции на лобовые части пазовая часть также изолируется бакелизированной бумагой, причем число слоев бумаги должно быть не менее 10. Во всем остальном процесс наложения пазовой изоляции аналогичен предыдущему. После наложения пазовой изоляции стержни поступают на опрессовку в пресса.

Изолировка роторных стержней для машин на эти же напряжения, но работающих в сырых помещениях, а также с большим числом оборотов, выполняется более усиленной. Выполнение изоляции производится следующим образом. По всей длине стержня, т. е. от загиба концов, накладывается один слой микаленты в полнахлестки. Толщина микаленты 0,3 *мм*, ширина — от 15 до 18 *мм*. Так как микалента в механическом отношении непрочна и не допускает натяжения при изолировке, то процесс ее наложения весьма труден и требует большой осторожности. Для придачи гибкости необходимо микаленту в процессе наложения смазывать лаком воздушной сушки. Сухая микалента, накладываемая на стержни, обычно образует пузыри (вздутия), из-за которых во время опрессовки могут получиться складки, ведущие

к излому чешуек слюды, а отсюда и к ослаблению изоляции стержня.[1] После наложения микаленты лобовая часть обеих сторон стержня покрывается в полнахлестки хлопчатобумажной лентой. На всей прямой пазовой части поверх микаленты, как и в двух описанных выше случаях, наворачивается бакелизированная бумага. Затем стержни также поступают на опрессовку в пресса.

Д. Изолировка стержней на напряжение от 500 до 1000 V

Для машин, предназначенных работать в особо сырой среде или в среде с сильными кислотными парами, а также для роторов с большим напряжением на контактных кольцах, вместо бакелизированной бумаги на пазовой части стержней, как описывалось выше, применяется микафолий, опрессовываемый в горячем прессе.

напряжение на кольцах ротора

от 750 до 1000 в

от 500 до 750 в

наименование	односторонняя толщ. изоляции по ширине паза в мм
микалента толщ. 0,13 мм в ½ нахлестки	0,26
микафолий толщ. 0,2 мм 3 слоя	0,6
летероид толщ. 0,15 мм или кабельная бумага толщ. 0,12 мм	0,15
летероид или прессшпан толщ. 0,2 мм	0,2
прессшпан пропитанный толщ. ≥0,5 мм	—
микалента толщ. 0,13 мм в ½ нахлестки	0,26
микафолий толщ. 0,2 мм 2 слоя	0,4
летероид толщ. 0,15 мм или кабельная бумага толщ. 0,12 мм	0,15
летероид или прессшпан толщ. 0,2 мм	0,2
прессшпан пропитанный толщ. ≥0,5 мм	—

Рис. 282. Разрез роторных стержней с изоляцией.

На рис. 282 показаны разрезы стержней с изоляцией, имеющих напряжение на кольцах от 500 до 1000 V. Из рисунка видно, что в обоих случаях весь стержень по всей длине покрыт в полнахлестки микалентой, толщиной 0,13 *мм*, сверху микаленты пазовая часть изолирована микафолиевой опрессовкой, толщиной 0,20 *мм*. Микафолий накладывается в 2—3 слоя. Для предохранения микафолиевой изоляции от механических повреждений сверху на нее накладывается летероид или кабельная бумага. Лобовые части стержней сверху микаленты покрываются также хлопчатобумажной лентой один раз в полнахлестки.

[1] В настоящее время большинство работ по изолировке стержней микалентой производится на изолировочном станке.

Е. Опрессовка изоляции стержней с бакелизированной бумагой и микафолиевой изоляцией паза

Опрессовка пазовой изоляции из бакелизированной бумаги в холодных прессах производится следующим образом. Вначале все стержни укладываются в подогревающие приспособления, где ведется нагрев в течение определенного времени, чтобы размягчился бакелитовый лак, нанесенный на одной стороне бумаги. Когда лак размягчится, стержни по нескольку штук вкладывают в пресс, в котором с помощью пресспланок производят постепенно опрессовку до требуемого размера. Когда пресспланки сойдутся до-отказа, опрессовку приостанавливают, выдерживают стержни некоторое время в зажатом

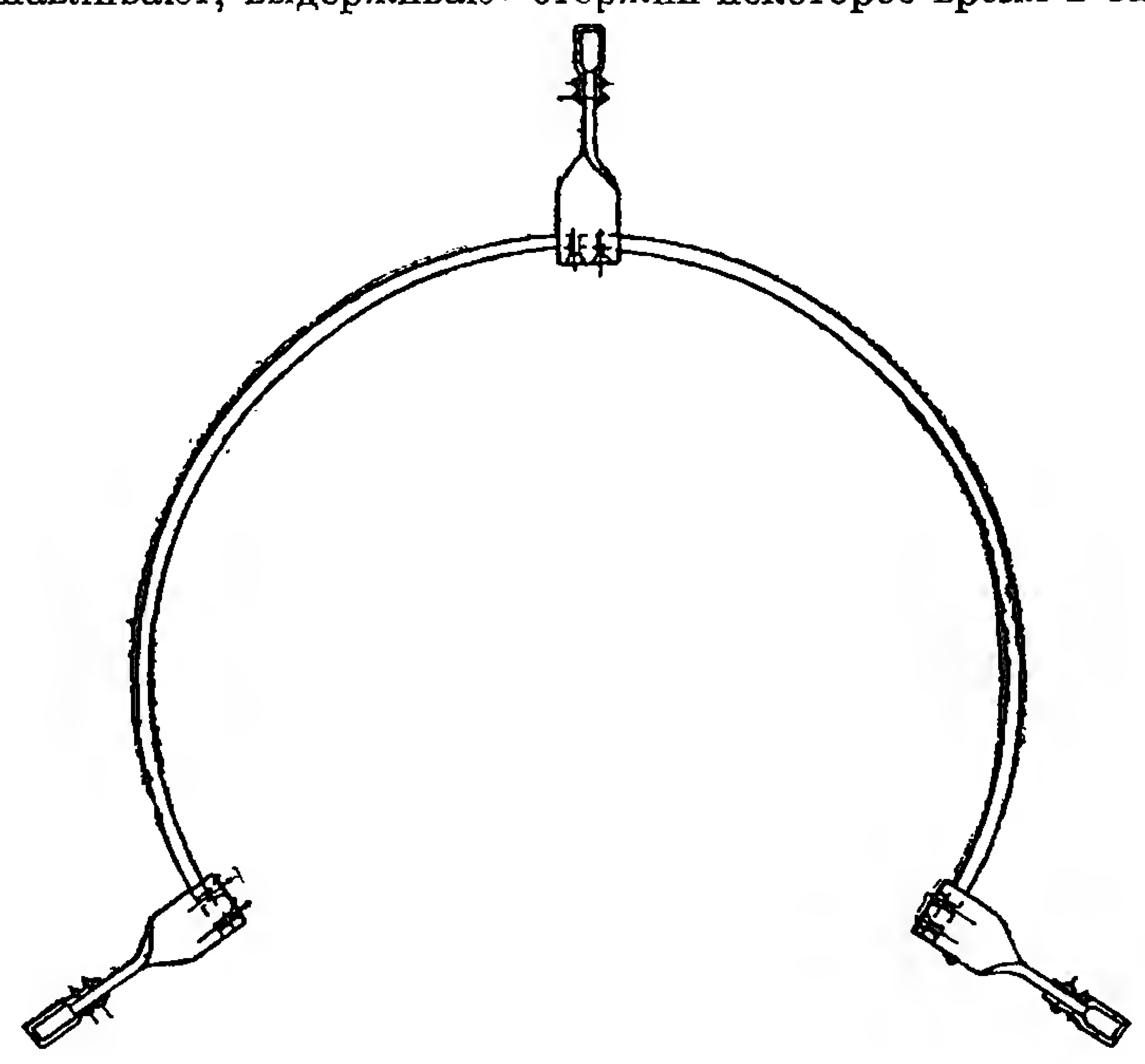


Рис. 283. Нулевая шина.

состоянии для остывания, после чего вынимают их из пресса, при этом предварительно промеряют размеры пазовой изоляции первых вынимаемых стержней.

Микафолиевая изоляция накладывается на пазовую часть стержня при помощи горячего утюга. Лист микафолия накладывается краем на пазовую часть стержня, затем по наложенному краю проводят горячим утюгом.

Под действием горячего утюга шеллак размягчается, и микафолий плотно прилегает и приклеивается. Для ровного прилегания микафолия к стержню и устранения могущих получиться складок и вздутий вслед за утюгом протирают накладываемый микафолий сухой тряпкой.

Опрессовка микафолиевой изоляции в горячих прессах ведется в коробчатых пресспланках следующим образом. В пресс закладывают

несколько стержней и нагревают их в течение определенного времени. При нагревании клеющее вещество микафолия — шеллак, растворенный спиртом, разжижается, и происходит испарение спирта. Этот процесс называется вы печкой, т. е. удалением из изоляции влаги.

Когда стержень с изоляцией будет доведен до требуемого размера, опрессовку заканчивают, прекращают нагрев и стержням дают остыть, не снимая давления.

Ж. Изготовление деталей соединения

Для изготовления деталей соединения применяется главным образом плоская медь прямоугольного сечения. Нарезка основных полос

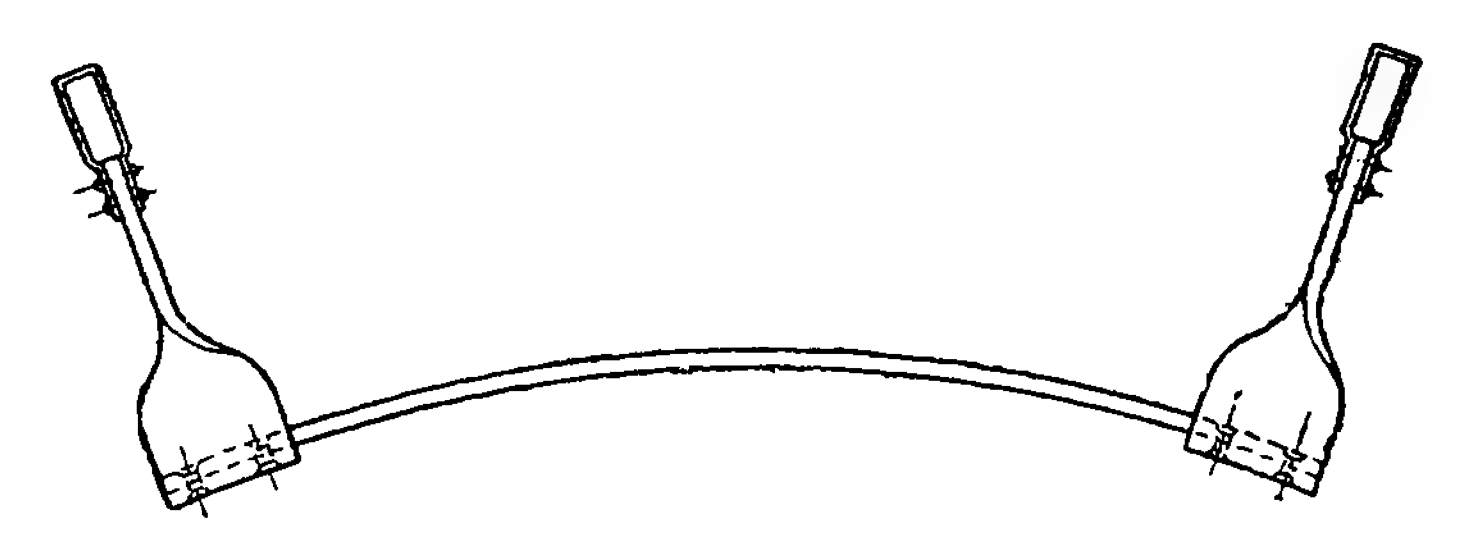


Рис. 284. Соединительная вилка.

производится согласно чертежам. Нарезанные полосы рихтуются на железной плите.

Звезда или нулевая шина (рис. 283), соединяющая три фазных конца обмотки готового ротора, представляет собой полосу плоской меди, согнутой дугообразно на 240°. К двум концам шины и к ее середине приклепываются токоотводы. Токоотводы изготовляются из полос меди, сечение которой должно быть не меньше сечения стержня.

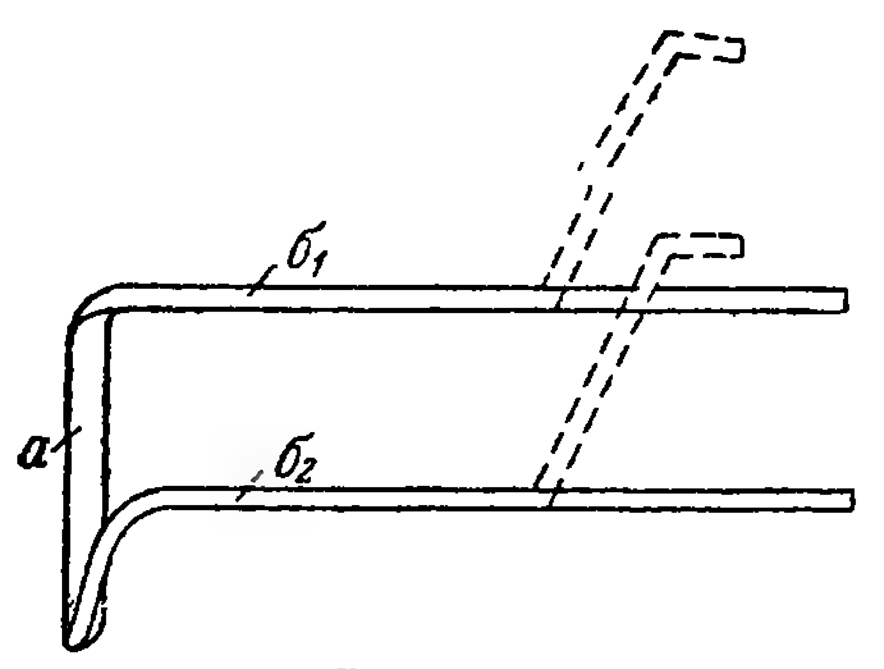


Рис. 285. Переходные стержни.

Из рис. 283 видно, что к токоотводам в верхней части приклепаны при помощи медных заклепок хомутики, изготовляемые из меди меньшего сечения. Хомутики и места заклепок облуживаются в оловянной ванне, после чего звезда считается готовой. Соединительные вилки или «поперечки» изготовляются примерно так же, как и звезда, с той лишь разницей, что у них имеются только два токоотвода для соединения со стержнями. Размеры поперечек много короче, чем звезды (рис. 284).

Другая конструкция переходных соединений (поперечек) изображена на рис. 285. Эта деталь изготовляется из той же роторной меди и состоит из следующих частей: головки a и двух ножек $б_1$ и $б_2$. Головка a лежит всегда снаружи и помещается на обмоткодержателе. Ножки $б_1$ и $б_2$ средней своей частью лежат в пазах ротора, а концы

их выходят наружу на другую сторону, где и изгибаются так же, как и концы роторных стержней.

3. Изолировка деталей соединения

Звезда и соединительные вилки изолируются одинаково, — один раз в полнахлестки лентой из лакоткани, толщиной 0,15—0,20 *мм*, а в местах изгибов — в три четверти нахлестки. Изолировку начинают от наружного края, т. е. от одного хомутика до другого. Наложив лакотканевую ленту со всех четырех сторон, как звезду, так и поперечки покрывают полосками прессшпана и поверх него изолируют хлопчатобумажной лентой в полнахлестки, а в местах изгибов в три четверти нахлестки. Покрытие полосками прессшпана деталей соединения предохраняет последние от механических повреждений, могущих произойти при соприкосновении с неровностями металлических частей обмоткодержателя во время работы машины.

Поперечки (переходные стержни) в головках изолируются аналогично звезде и соединительным вилкам. Ножки $б_1$ и $б_2$ изолируются так же, как и пазовая часть стержней ротора, в зависимости от рабочего напряжения.

ГЛАВА IX

ИЗГОТОВЛЕНИЕ КАТУШЕК СТАТОРНЫХ ОБМОТОК

1. ИЗГОТОВЛЕНИЕ КАТУШЕК ШАБЛОННОЙ ОДНОСЛОЙНОЙ ОБМОТКИ КРУПНЫХ МАШИН

А. Заготовка катушек на макете

Макет делается из дерева и представляет собой подобие части статорного железа с такими же размерами. Вид макета для обмотки нижних катушек изображен на рис. 286.

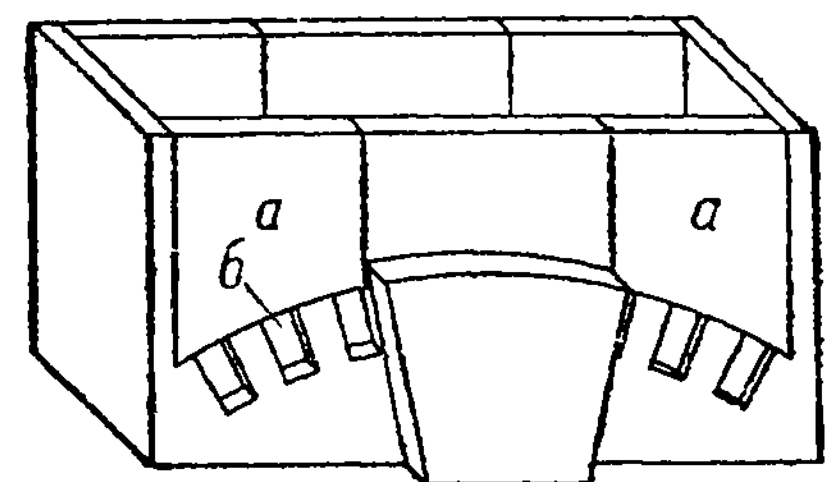


Рис. 286. Деревянный макет.

Наверху над пазами устроены запоры *а* для укрепления гильз в пазах *б* макета. В гильзы вкладываются деревянные шпильки и крючки, между которыми протаскивается проводник. Намотка и укладка витков производятся таким же порядком, как это описано в главе XII, § 5.

Перед намоткой 2-й и 3-й катушек вместо прессшпановых прокладок, которые ставятся при обмотке протяжкой, здесь для сохранения размеров между катушками ставятся обычно деревянные прокладки. После намотки всех катушек катушечной группы они вынимаются из макета и поступают на изолировку.

Намотка катушек в макете имеет преимущество перед намоткой их непосредственно в статоре, а именно: 1) заготовку катушек можно произвести заранее, 2) размеры всех катушек будут строго выдержаны,

3) укладка всех проводников на отложной стороне шаблона производится сверху и видна обмотчику, 4) не требуется поворотов статора и т. п.

Верхние катушки наматываются также на макете.

Б. Намотка катушек на станке

Здесь мы опишем заготовку катушек на деревянных шаблонах, укрепляемых на обыкновенных лобовых станках.

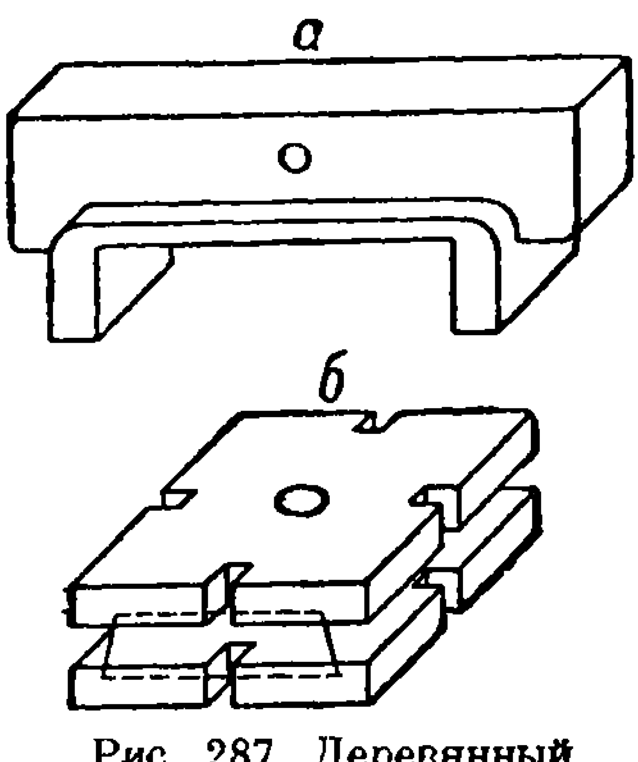


Рис. 287. Деревянный шаблон.

Намотка каждой отдельной катушки производится на отдельном шаблоне как для верхних, так и для нижних катушек. Если, например, нижняя катушечная группа состоит из четырех катушек, то для каждой катушки должен быть свой шаблон.

Вид шаблонов для нижних и верхних катушек показан на рис. 287, *а* и *б*.

Намотчику должно быть известно, на какое напряжение изготовляется обмотка. Сообразно с этим ведутся и работы по намотке.

Для обмотки машины с рабочим напряжением от 3000 до 6000 V, а также и для электродвигателей средней мощности, обороты которых превышают 1500 в минуту независимо от напряжения, применяется простая поперечная укладка проводников. При напряжениях между соприкасающимися витками свыше 50 V применяют горизонтальные прокладки между рядами витков. Прокладкой служит промасленный прессшпан, толщиной 0,3 *мм*, или гибкий миканит, толщиной 0,2—0,3 *мм*. На рис. 288 показан разрез паза с поперечной укладкой проводников, между слоями которых проложены горизонтальные прокладки.

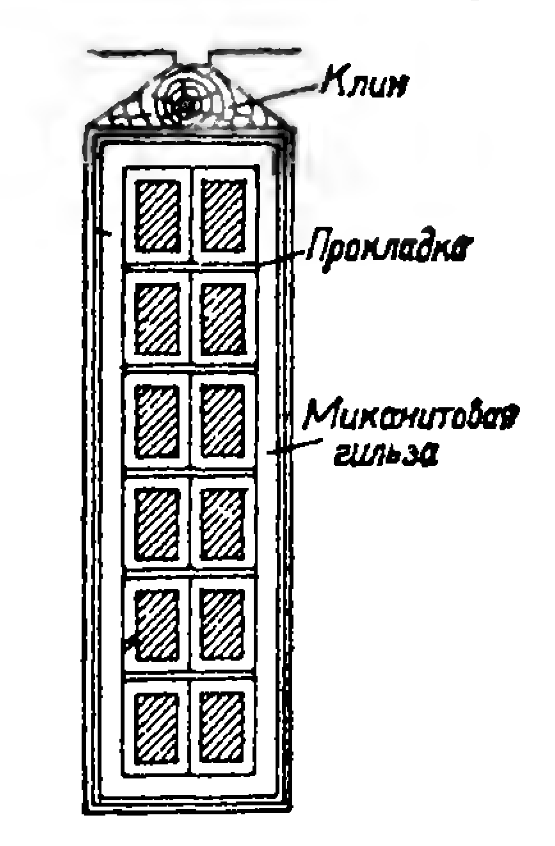


Рис. 288. Разрез паза.

Статорная обмотка для машин небольшого напряжения выполняется с вертикальными прокладками из прессшпана на 0,2—0,3 *мм* между рядами.

Для примера рассмотрим намотку катушек из литцы на лобовом станке для машины с рабочим напряжением 6600 V. Катушечные группы состоят из катушек по 12 витков в каждой. Размеры деревянных шаблонов (рис. 287) должны быть определены для каждой отдельной катушки. Так, например (рис. 289 и 290), первую нижнюю отложную катушку нужно намотать на шаблоне, длина которого должна соответствовать длине железа статора 230 *мм* + толщина двух нажимных колец, помещающихся с двух сторон статора, по 35 *мм* + длина двух вылетов обмотки по 45 *мм*. Итого 230 + 70 + 90 = 390 *мм*.

Для второй катушки отложная часть шаблона должна быть больше первой на толщину отложной части первой катушки плюс воздушный зазор между 1-й и 2-й катушками. Шаблон для 3-й катушки в отложной части должен быть больше предыдущего на такое же расстояние.

На рис. 289 видно, что очертания лобовой части шаблонов представляют собой окружности с диаметрами: для 1-го шаблона — 3575 *мм*, для 2-го — 3615 *мм* и для 3-го — 3655 *мм*. Ширина деревянных шаблонов должна соответствовать шагу соответствующих катушек.

Намотка нижних катушек производится следующим образом. Бухта с проводником кладется на вертящийся барабан, откуда проводник идет через зажим, сделанный из двух планок, стянутых болтами. Между планками укладываются два слоя фибры, через которые проходит к станку проводник. Посредством зажима создается известное натяжение и выравнивание проводника. Начальный конец, длиной около 0,5 *мм*, служащий в дальнейшем для вывода, укрепляется в планшайбе.

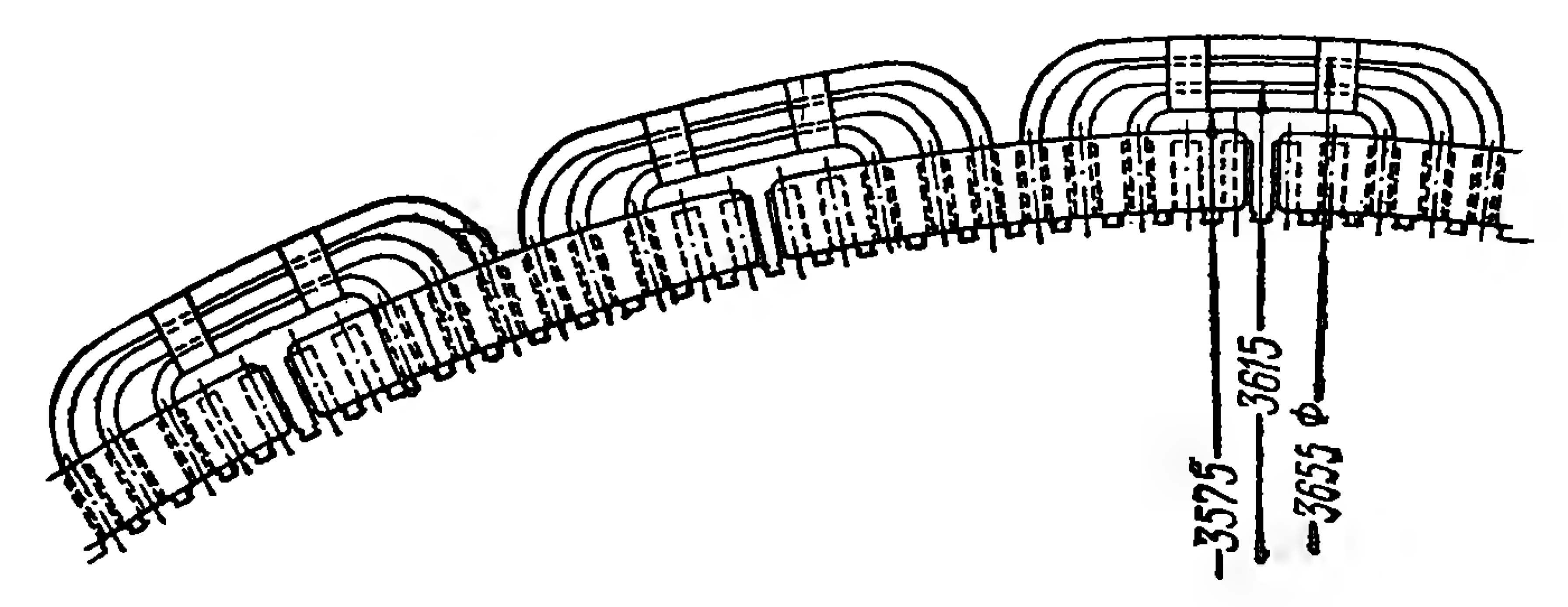


Рис. 289. Чертеж обмотки.

В процессе намотки для лучшего прилегания витков к шаблону их все время осаживают при помощи фибрового клина и ручника.

Пусть обмотка катушек должна быть выполнена поперечной укладкой согласно рис. 288 и между горизонтальными рядами должна быть проложена изоляционная прокладка. В этом случае первые два витка, составляющие один ряд со стороны выходных концов, укладываются на шаблон нормально. 3-й виток укладывается с переходом во 2-й ряд, причем переход делается на отложной лобовой части катушки. Затем либо под переход подкладывают прессшпановую прокладку, либо это место изолируют лентой из лакоткани. 4-й виток укладывается на место временно проложенной прокладки из проводника того же сечения. 5-й и 6-й витки наматываются нормально, без переходов, а 7-й и 8-й опять с переходами и т. п.

Между горизонтальными витками, как было указано выше, ставятся в прямой пазовой и лобовой частях изоляционные прокладки из прессшпана, толщиной 0,3 *мм*, которые после намотки катушки заменяются прокладками из гибкого миканита той же толщины. Прокладки из гибкого миканита не ставятся сразу, так как они слишком хрупки и могут быть повреждены при осадке.

После намотки необходимого числа витков (в данном случае 12) намотанную катушку связывают в 6—8 местах хлопчатобумажной лентой, положенной перед намоткой на шаблон под первые витки катушки. Связка лентой применяется для крепления витков и сохранения необходимой формы катушки. Затем конец проводника отрезают от бухты меди и катушку снимают с шаблона. Таким же образом наматывают остальные катушки нижней катушечной группы.

Теперь перейдем к описанию намотки верхних катушек.

Каждая верхняя катушечная группа имеет по две катушки.

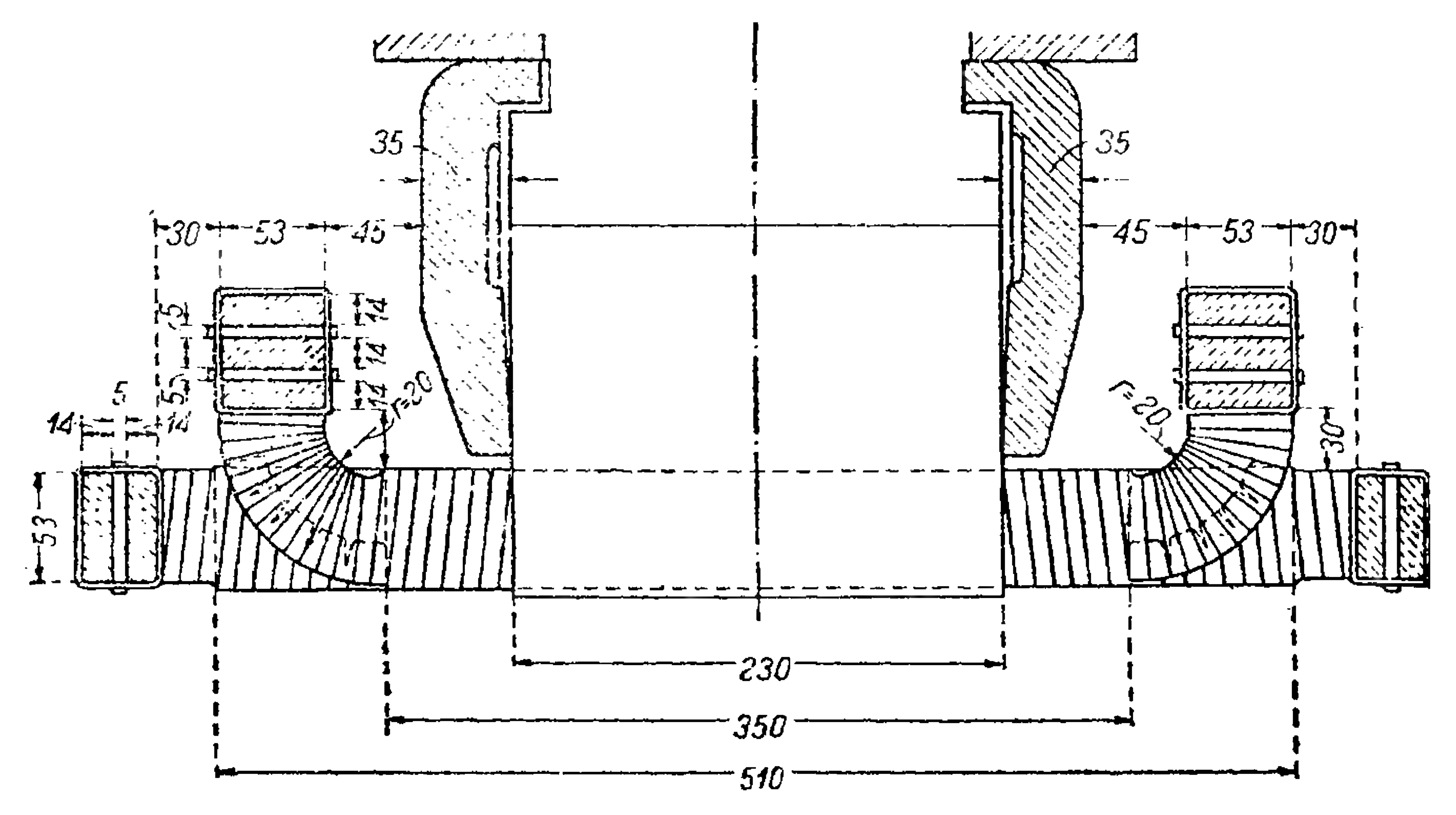


Рис. 290. Чертеж обмотки.

Длина шаблона для намотки 1-й верхней катушки получается из следующего расчета (рис. 289):

Длина железа	230 *мм*
Толщина двух нажимных колец	70 »
Величина расстояний от железа до нижней катушки 45 × 2	90 »
Ширина нижней катушки 53×2	106 »
Расстояния между катушками (низа и верха) 30×2	60 »
Итого . . .	556 *мм*

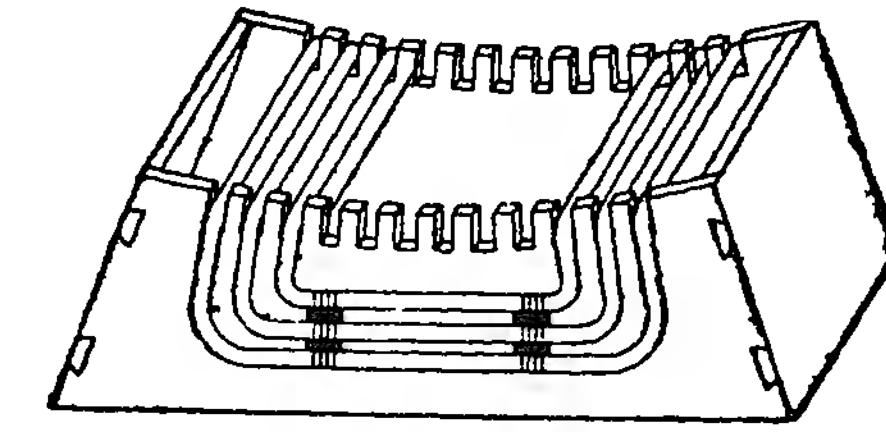
Длина шаблона для 2-й верхней катушки будет больше первого на толщину 1-й катушки с изоляцией плюс воздушный зазор между 1-й и 2-й катушками. В приведенном случае длина 2-й верхней катушки более 1-й на 19 *мм* на сторону.

Ширина шаблона 1-й верхней катушки будет соответствовать ширине 2-й отложной нижней катушки, так как и та и другая имеют шаг из 1-го в 8-й паз (рис. 289). Ширина шаблона для 2-й верхней катушки будет по этой же причине равняться ширине 3-й нижней катушки.

тушки будет по этой же причине равняться ширине 3-й нижней катушки.

Вид шаблона для намотки верхних катушек показан на рис. 287, *б*. Скос пазовых сторон шаблона делается потому, что стороны катушки не должны быть параллельны, — катушки имеют некоторый конус, так как они закладываются в пазы по окружности статора, диаметр которого по верху пазов меньше, чем по низу, а потому и ширина катушки по низу и верху должна быть различна.

Намотанные катушки после снятия с оправки укладываются в пазы деревянного макета (рис. 291), выполненного соответственно пазам статора для проверки правильности их изготовления.


Рис. 291. Деревянный макет.

При примерке катушек в деревянном макете в пазы подкладывают картон. По толщине он должен равняться миканитовой опрессовке (будущей изоляции), которая будет наложена впоследствии на пазовую часть обмотки.

Изготовленные катушки передаются на последующие операции — изолировку, компаундировку, опрессовку и т. д., которые описаны ниже.

В. Изолировка катушек, намотанных на станке

После снятия катушек со станка временные прессшпановые горизонтальные прокладки заменяются миканитовыми, толщиной от 0,20 до 0,30 *мм*, после чего каждая катушка в пазовой и лобовой частях изолируется хлопчатобумажной лентой, шириной от 30 до 50 *мм*, один раз в полнахлестки. Затем катушки комплектуются по катушечным группам, для чего их укладывают в макет. Между соседними катушками в прямой (пазовой) части прокладывают длинные деревянные планки, толщиной, равной длине зуба железа статора плюс двойная толщина стенки миканитовой изоляции катушки, которая будет наложена после компаундировки.

Деревянные планки укрепляются двумя бандажами из шпагата на каждую сторону. В лобовых частях с обеих сторон между отдельными катушками ставят временные картонные прокладки, которые скрепляют временными же веревочными бандажами.

Скрепленные указанным способом скомплектованные катушки поступают на компаундировку.

Г. Компаундировка катушек

Катушки укладываются на металлические стеллажи и загружаются в компаундировочный котел с неплотно закрываемой крышкой, где сушатся сначала в течение 2—3 часов при температуре 110—120° С, а по прошествии указанного времени сушка ведется 2—3 часа при той же температуре, но под вакуумом, при давлении в 40—60 *мм* ртутного столба, после чего снимают вакуум и в компаундировочный

котел впускают из котла предварительного нагрева компаундную массу, подогретую до 140—150° С.

Когда все уложенные в котел катушки покроются компаундной массой, кран из котла предварительного нагрева закрывают и в компаундировочный котел нагнетают воздух до давления в 7 *ат*, чтобы компаундная масса пропитала все поры в изоляции катушек. Температуру при этом давлении доводят до 160° С и компаундировку при указанных давлении и температуре ведут в течение 2—3 часов. Затем перепускной кран открывают, и компаундная масса из компаундировочного котла вытекает в котел предварительного нагрева. Когда компаундная масса вся выпущена, открывают крышку компаундировочного котла и с помощью крана или лебедки приподнимают стеллажи с катушками. Когда же стекут излишки компаундной массы, стеллажи вынимают из котла и катушкам дают остыть.

Назначение просушки изоляции перед пропиткой или компаундировкой — удаление из изоляции имеющейся в ней влаги. В данном случае изоляция витков катушек — хлопчатобумажная, принадлежащая к волокнистым материалам, весьма гигроскопична, т. е. способна впитывать влагу из окружающей среды.

Просушенная изоляция пропитывается или компаундируется с целью заполнить поры хорошим изолятором, каким являются лаки и компаунды.

Д. Предварительная опрессовка катушек

С остывших катушек снимают все временные бандажи, удаляют деревянные прокладки между катушками, отделяют катушки друг от друга и снимают картонные прокладки. Затем на пазовую часть наматывают один или два слоя телефонной бумаги и катушку помещают в горячий пресс, где пресспланками производят предварительную опрессовку.

Эта опрессовка необходима для придания катушкам соответствующих размеров по ширине и высоте и для удаления излишков компаундной массы. Доведя ширину и высоту катушки до нужного размера, ее вынимают из пресса и снимают телефонную бумагу. После этого приступают к изоляции катушки микафолием в пазовой части.

Е. Наложение изоляции на пазовую часть катушки Опрессовка и выпечка

Длина микафолиевой изоляции пазовой части при напряжении в 6000 V должна быть для нижних отложных катушек (согласно рис. 290) 350 *мм* и для верхних прямых 510 *мм*.

Для примера на рис. 292 показана изоляция пазовой части катушки. Общая ширина катушки без микафолия 14,5 *мм*. Высота катушки после компаундировки получится около 50 *мм*. Согласно существующим нормам толщина микафолия должна быть 2,5 *мм*.

Берут рулонный микафолий, толщиной 0,5 *мм*, и от него отрезают кусок требуемого размера. Зная длину микафолиевой опрессовки,

можно сделать заготовку микафолиевых полос, подсчитав необходимую ширину их как сумму следующих величин:

Ширина (2 стороны) . . .	30 *мм*
Высота (2 стороны) . . .	100 »
Припуск	20 »
Итого . . .	150 *мм*

Умножая полученный результат на 5 (число оборотов), получаем необходимый размер $150\times5 = 750$ *мм*.

Нарезанный микафолий наматывают в 5 оборотов на пазовую часть катушки. По наложенному на пазовую часть катушки первому слою микафолия на каждой стороне катушки проводят горячим утюгом, чтобы расплавить шеллак и микафолий. Расплавленный шеллак дает возможность приклеить микафолий к виткам катушки. Прогладив утюгом, обутюженную сторону сразу же протирают тряпкой для удаления возможных морщин и лучшего прилегания микафолия к катушке. Переворачивая все время катушку, накладывают последующие обороты микафолия, все время проглаживая их горячим утюгом и протирая тряпкой.

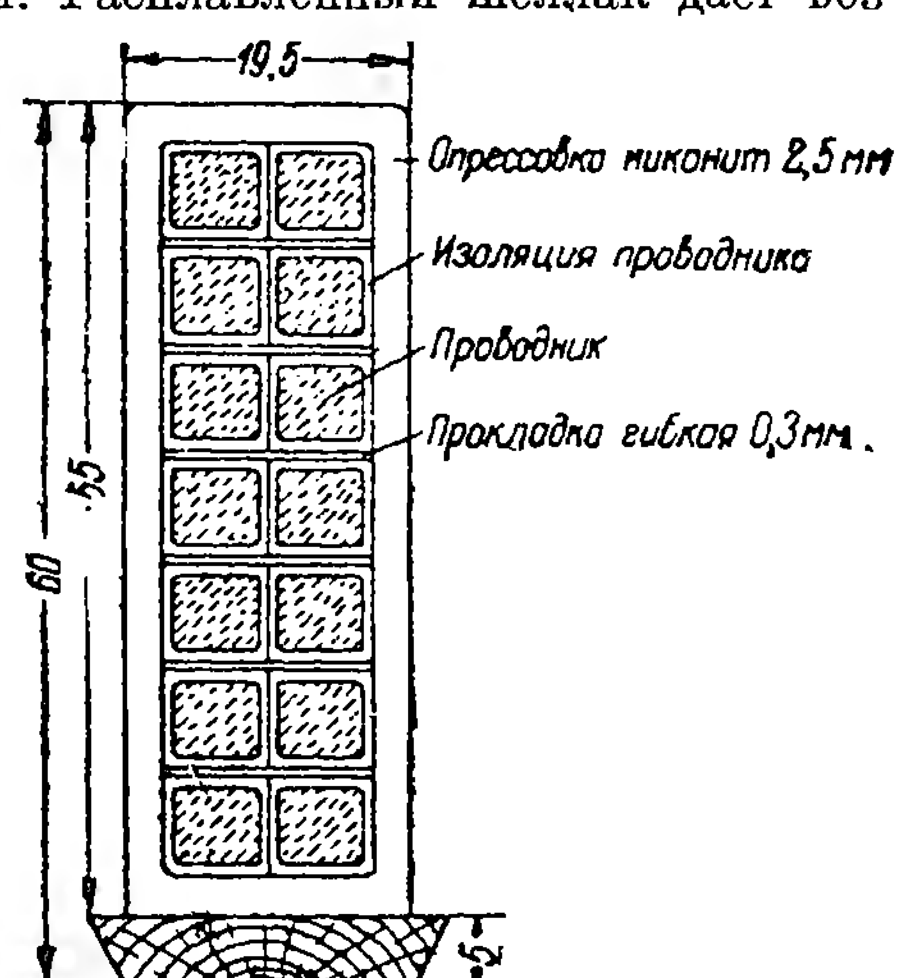


Рис. 292. Разрез паза.

Наложив микафолий на обе стороны катушки, поверх микафолия накладывают один слой телефонной бумаги, толщиной 0,07—0,10 *мм*. Затем приступают к опрессовке и выпечке наложенной микафолиевой изоляции.

Опрессовка и выпечка ведутся в прессах, обогреваемых паром. В пресс вкладывается одна сторона катушки и сжимается до определенного размера по ширине и высоте пресспланками. Разогревая наложенный микафолий, производят выпечку находящегося в нем шеллака от 30 мин. до 1 часа и более, смотря по размеру обмотки. После истечения указанного времени доступ пара прекращают и катушке дают остыть в прессе. Когда она остынет, ее вынимают из пресса.

То же самое проделывают и со второй стороной катушки.

При опрессовке одной стороны катушки другая сторона не должна свободно свисать, так как форма ее может измениться. Подобный дефект при вкладке катушки в пазы статора потребует нового подогрева лобовых частей для их выправления. Для предупреждения этого следует свисающую сторону катушки удерживать на специальных подставках.

После опрессовки и выпечки катушек перед изолировкой лобовых частей производят отделку опрессованной пазовой части. Удаля-

ют излишки выдавленной компаундной массы и шеллака на концах гильз, после чего накладывают изоляцию на лобовые части.

Ж. Изолировка лобовых частей катушек

Изоляция лобовых частей выполняется лакотканью в три слоя и одним слоем ленты, шириной от 20 до 30 *мм*, в полнахлестки на всей лобовой части и в три четверти нахлестки на изгибах. Выводные концы катушек изолируются лакотканью два раза в полнахлестки, причем начало изолировки ведут от края до места выхода из миканитовой гильзы и затем идут обратно. Изолированные концы подводятся к лобовым частям и поверх них уже накладывается общая изоляция лобовой части. Переходы от катушки к катушке изолируют 3 раза лакотканью в полнахлестки и поверх хлопчатобумажной лентой.

После изолировки лобовых частей катушки подвергаются испытанию на пробой и витковое соединение. Выдержавшие испытание катушки передаются для вкладки в статор.

2. ИЗГОТОВЛЕНИЕ КАТУШЕК РАЗРЕЗНЫХ ОБМОТОК

Разрезная обмотка применяется в высоковольтных машинах в тех случаях, когда статор имеет полузакрытые пазы.

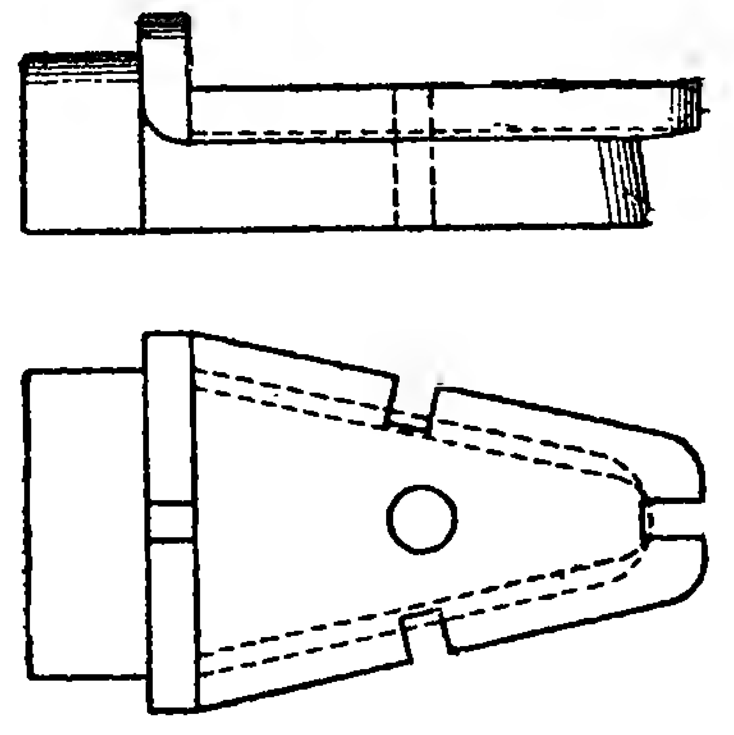


Рис. 293. Шаблон разрезной обмотки.

Вкладка обмотки производится с торца статора разрезными частями, которые затем соединяются между собой.

Намотку секций разрезной обмотки производят на лобовых станках, к планшайбе которых прикрепляются специальные шаблоны, показанные на рис. 293. Одна сторона этого шаблона имеет форму, похожую на стороны шаблона для намотки нижних катушек, вторая же сторона его сужается к концу и образует вид хвоста.

Каждый шаблон имеет три выреза, в которые перед началом намотки вставляются куски хлопчатобумажной ленты, которыми намотанные катушки скрепляются, предохраняя витки от распада. Намотка витков катушек производится в зависимости от рабочего напряжения статора продольной или поперечной укладкой.

Все переходы выполняются на отложных частях катушек.

Первые катушки, составляющие катушечную группу, выверяются в деревянном макете, устройство которого было описано выше. Убедившись в правильности намотки, наматываются и остальные катушки.

Витки намотанных катушек в суженной части посередине хвоста разрезаются (этим и обусловлено название этой обмотки «разрезная»). Разрезанным виткам придается прямолинейность ударами ручника по деревянному или фибровому клину, наложенному на концы обмотки.

Затем в зависимости от рабочего напряжения статора прокладывается междувитковая изоляция — гибкий миканит или прессшпан.

Выпрямленные концы обмотки зачищаются от изоляции по длине 20—40 *мм*.

Зачистку концов удобнее произвести после намотки, так как зачистка после компаундировки потребует вдвое больше времени.

Далее обмотка скрепляется хлопчатобумажной лентой вразбег, поверх которой к прямым пазовым частям сбоку прикладываются картонные прокладки, по высоте равные намотанным виткам, и катушка вновь скрепляется киперной лентой в полнахлестки. Киперная лента в процессе компаундировки служит фильтром, не позволяющим большим наплывам компаундной массы проникать между витками, — тем самым избегается излишняя работа по очистке от массы. Количество компаундной массы, проникшей в витки через киперную ленту, вполне достаточно.

Затем катушки проходят дальнейшие операции, которые аналогичны операциям с неразрезными катушками, т. е. компаундировку, предварительную опрессовку, наложение миканитовой изоляции, ее опрессовку и выпечку и т. д.

После окончания всех операций катушки испытываются на «корпус» и «витковое» и передаются в обмоточный цех для вкладки в пазы статора.

3. ИЗГОТОВЛЕНИЕ КАТУШЕК ДВУХСЛОЙНОЙ ОБМОТКИ МЕЛКИХ МАШИН НА ШАБЛОНАХ-ОПРАВКАХ

Двухслойные статорные обмотки небольших низковольтных машин, напряжением 120—500 V, могут быть изготовлены намоткой целиком полной фазы обмотки, как это делается на ленинградском заводе «Электросила» им. С. М. Кирова. Каждая фаза обмотки имеет несколько катушек, состоящих из витков медной проволоки, укладываемых в статор через шлиц.

А. Заготовка обмотки

Намотка катушек производится на небольших намоточных станках, к планшайбе которых прикрепляются специальные шаблоны-оправки.

Из рис. 294 видно, что станок состоит из шпинделя *1* с надетыми на него шаблонами *2*, шкива *3* для ремня от электродвигателя, станины *4* с подшипниками, шарнира Гука *5*, соединяющегося со счетчиком оборотов *6* шпинделя.

На шпиндель *1* надеваются шаблоны-оправки, число которых при данном способе намотки должно равняться числу катушек в фазе.

Для примера рассмотрим устройство шаблонов-оправок для намотки катушек двухслойной обмотки одной фазы статора асинхронного двигателя со следующими данными:

Число пазов $Z = 27$, число пар полюсов $p = 3$, число пазов на полюс и фазу $q = 1^1/_2$.

Согласно приведенным данным, каждая фаза состоит из девяти катушек, схема обмотки дана на рис. 295.

Из схемы видно, что каждая фаза состоит из трех катушечных групп по 2 катушки в каждой и из трех катушечных групп по 1 ка-

тушке в каждой. Чередование числа катушек в катушечных группах всех фаз вдоль развернутой схемы идет в следующем порядке: 2—1—2—1—2—1 и т. д.

Для намотки одной фазы этой обмотки необходимо иметь 9 шаблонов-оправок. Они обычно изготовляются из дерева. Шаблоны приме-

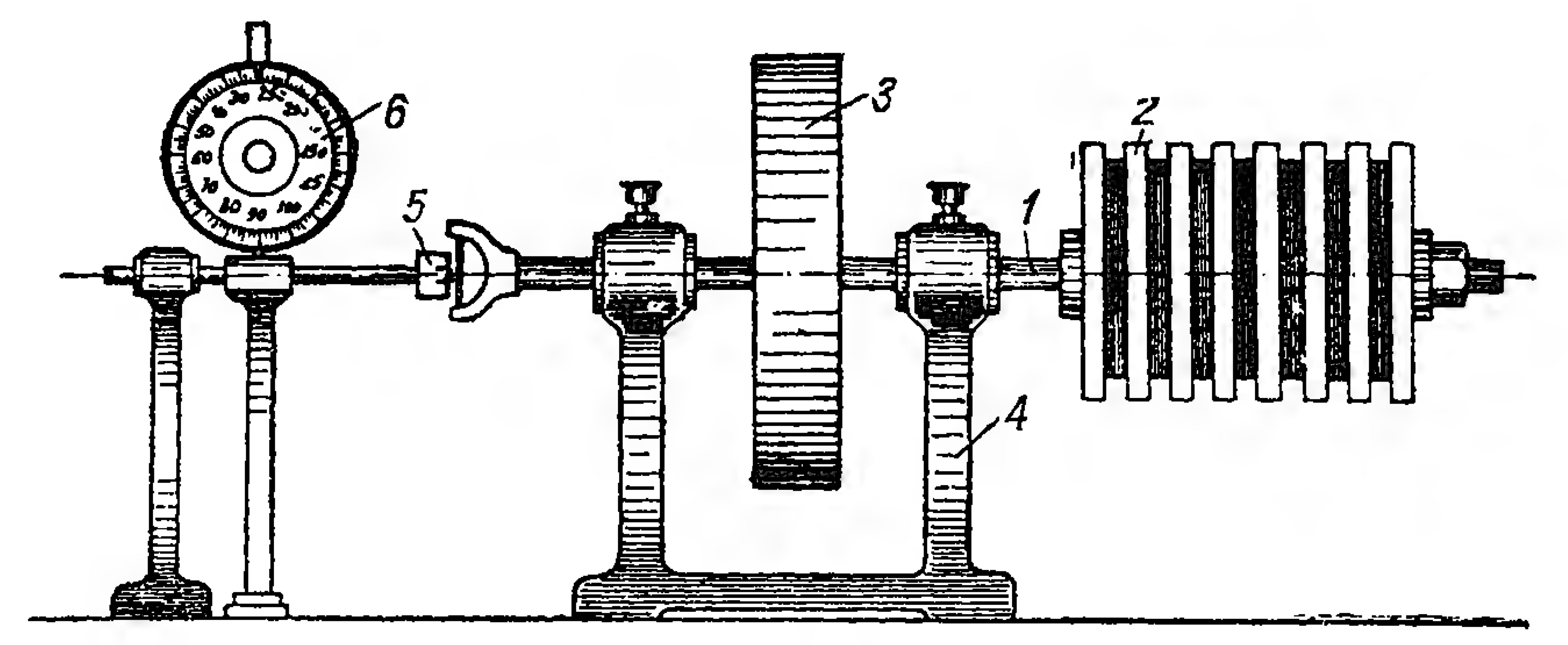


Рис. 294. Намоточный станок.

няются двух видов. Внутреннее очертание всех шаблонов одинаково. На рис. 296, *а* показан общий вид оправки-шаблона. Он состоит из основания, имеющего два выреза для подкладки шпагата, скрепляющего провода, и сердечника, имеющего очертание катушки. Сердеч-

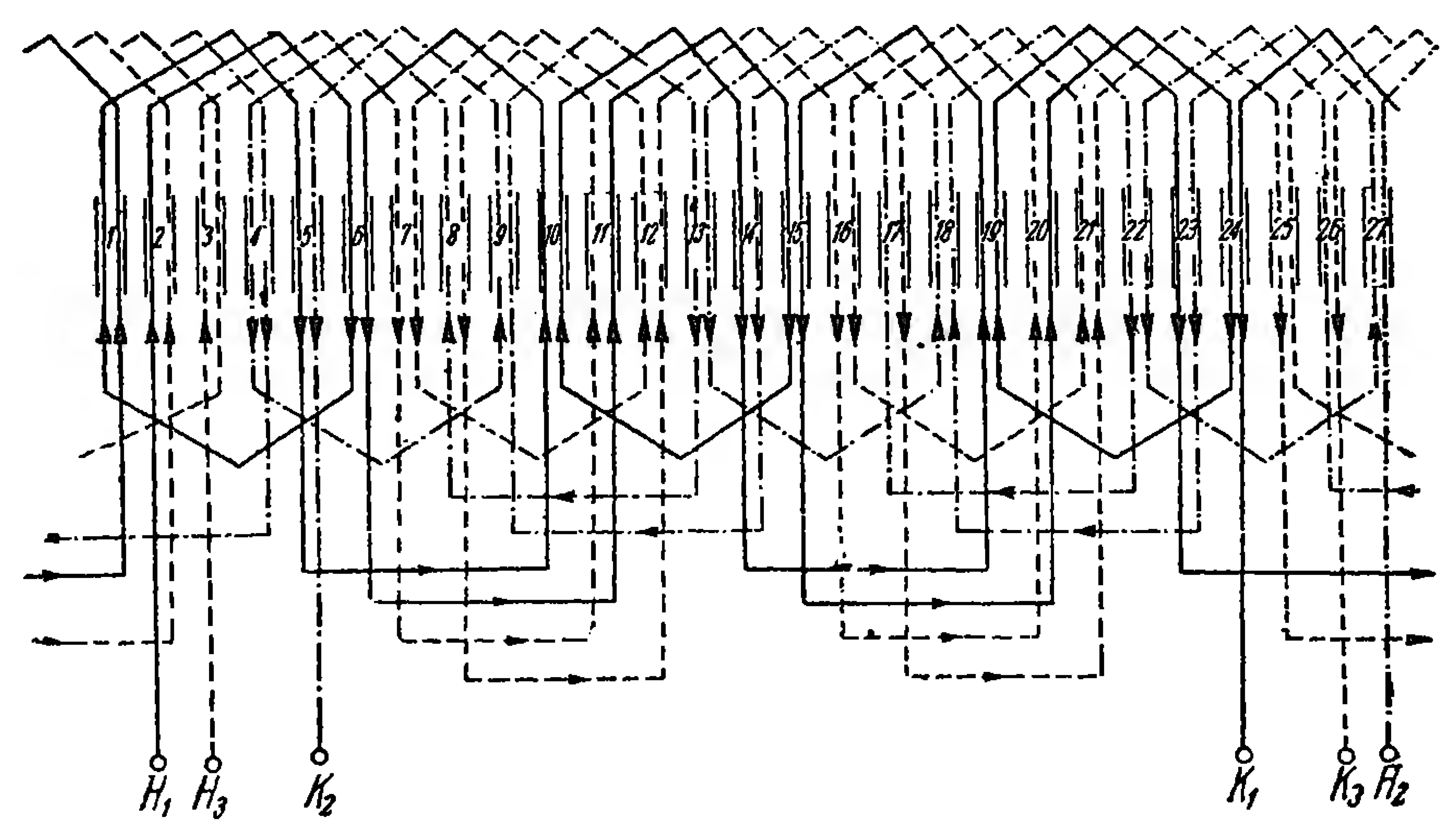


Рис. 295. Схема обмотки.

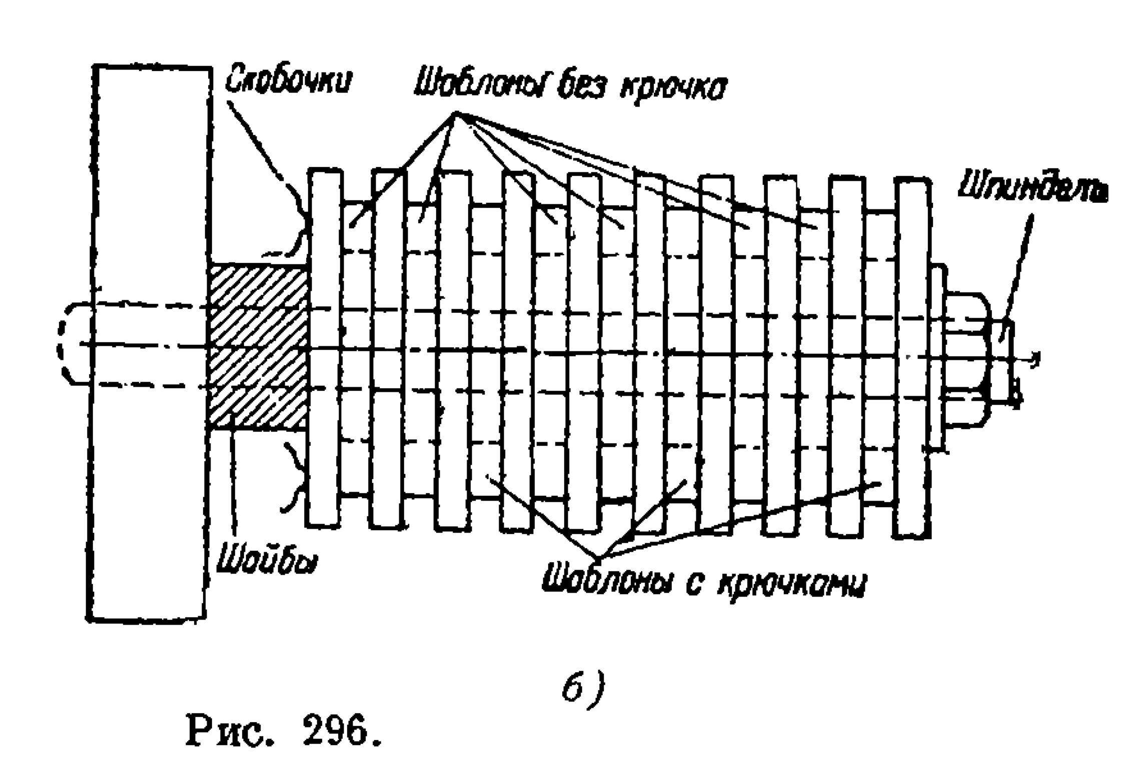
ник прикрепляется к основанию винтами. В середине шаблона имеется отверстие, служащее для надевания шаблона на болт-шпиндель. Второй вид шаблона отличается от первого только тем, что в его основании имеется вырез *в* (крючок). Для выполнения указанной обмотки применяются 6 шаблонов первого вида и 3 шаблона второго

вида. Все шаблоны надеваются на болт-шпиндель намоточного станка и закрепляются гайкой. Они располагаются на шпинделе в порядке, указанном на рис. 296, *б*, причем шаблоны с крючками устанавливаются повернутыми на 180° по отношению к шаблонам без крючков, т. е. если шаблоны без крючков устанавливаются на болт-шпиндель так, что самая большая сторона сердечника будет находиться со стороны рабочего места, то эта же сторона шаблонов с крючками должна находиться и с противоположной стороны. Эта установка шаблонов необходима для того, чтобы соблюдать требующееся направление тока в обмотке фазы.

Между планшайбой и шаблонами на болт-шпинделе устанавливается дистанционная деревянная шайба. Первая оправка на своем основании имеет две металлические скобочки для зажима начального конца провода.

Б. Процесс намотки

Работница надевает бухту провода *1* на конус *2* разъемного барабана (рис. 297), затем надевает съемную щеку *3* и ключом *6* заворачивает гайку *4* стяжного болта *5* для того, чтобы плотно



а) *б)*

Рис. 296.

а) Оправка-шаблон. *б)* Расположение шаблонов на шпинделе.

закрепить бухту провода на барабане. После этого барабан *1* (рис. 298) устанавливают в натяжное приспособление, а конец провода пропускают через деревянный барабан и через две пары натяжных направляющих роликов *3*. Конец провода прикрепляют на первой щеке шаблона *4* к металлическим скобочкам; в вырезы основания первого шаблона под укладываемый виток подкладывают небольшой конец ленты или шпагата, которыми впоследствии будут скреплены витки катушки.

На рис. 298 показан также тормоз *2* и приводной двигатель *5*.

Намотав в первой катушке требуемое число витков, ее скрепляют. Таким же способом наматывают и вторую катушку. После намотки двух катушек делают «переход», т. е. намотчица огибает

проводником крючок 3-го шаблона и аналогично наматывает 3-ю, 4-ю и 5-ю катушки.

После намотки 5-й катушки делается второй переход, т. е. опять огибание крючка 6-го шаблона. Такой же переход делается при намотке 9-го шаблона. Намотав всю фазу, отвертывают гайку болта-шпинделя (рис. 296) и все 9 шаблонов вместе с намотанной на них обмоткой снимаются со шпинделя станка. Затем поочередно (в порядке номеров шаблонов) оправки освобождаются от намотанных катушек и в требуемом порядке вновь устанавливаются на болт-шпинделе станка. Намотанную фазу связывают шпагатом. Когда намотаны три фазы, то их пазовую часть слегка промазывают парафином и связывают вместе, на этом заканчивается процесс заготовки одного комплекта обмотки.

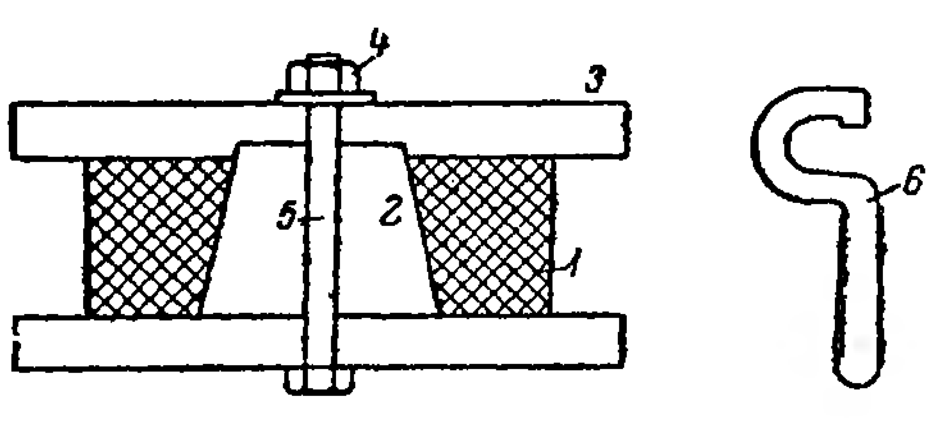


Рис. 297. Разъемный барабан.

Отметим, что число шаблонов с крючками при этом способе намотки (целой фазы) должно равняться числу пар полюсов.

После комплектовки обмотка поступает на обжиг концов, для того чтобы удалить с них хлопчатобумажную ленту и слой эмали. Обжиг концов обмотки производится в электропечи, вид которой указан на рис. 299.

Работница, расправив все концы у комплекта обмотки и скрутив их вместе, просовывает их в отверстие печи, где в 15—18 сек. обгорают хлопчатобумажная ткань и эмаль. После этого комплекты обмотки поступают на укладку в пазы.

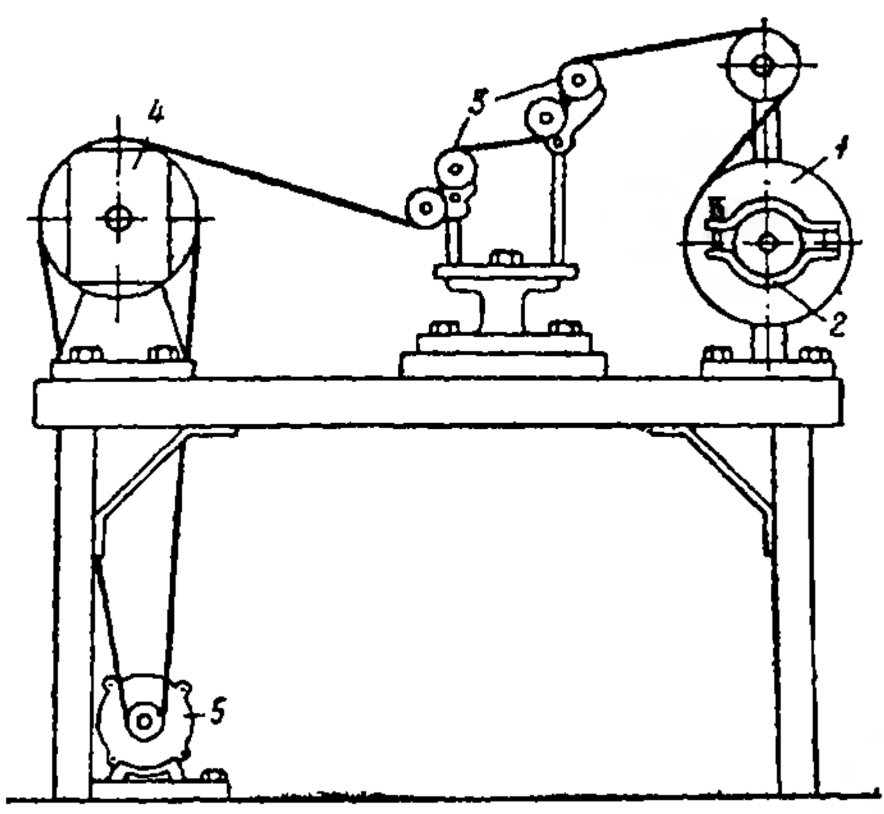
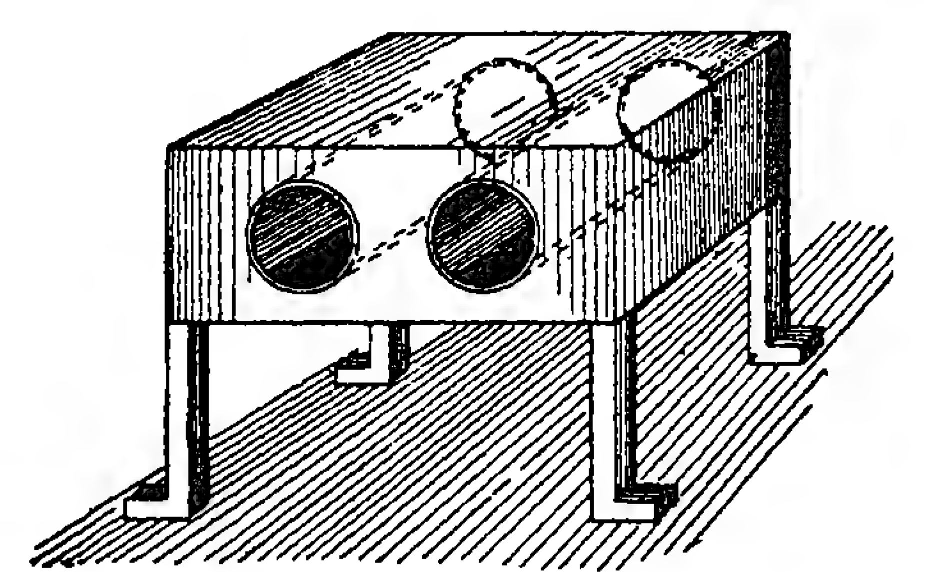


Рис. 298. Установка для намотки катушек.


Рис. 299. Электропечь.

Выше мы рассмотрели процесс намотки обмотки из провода, сечением до 1 *мм*². Намотка провода, сечением свыше 1 *мм*² — для более крупных машин, производится на более мощных станках. Шпиндель в этом случае делает 200—300 *об/мин*, вместо 500—600 — при намотке катушек из провода меньшего сечения. В последнем случае провод из бухты наматывается на шаблон-оправку на себя.

При намотке катушек из провода большего сечения намотку ведут от себя и применяют специальное натяжное приспособление, вид которого показан на рис. 300. Бухта провода устанавливается в аналогичный, как и в первом случае, разъемный барабан (рис. 297). Барабан с проводом устанавливается на болт натяжного приспособления (рис. 300) и плотно поджимается маховичком *2*, на котором имеется конус, ко второму конусу. Болт имеет левую резьбу.

После установки барабана с проводом и закрепления его на болте приспособления поворотом барашка *3* регулируют торможение вращения барабана. При намотке параллельно двух проводов применяют два барабана *4*, как это показано на рис. 300. Концы проводов пропускают через зажимное приспособление *5*.

Это приспособление имеет три-четыре глазка, внутрь которых закладывается прессшпановая или фибровая прокладка для устранения трения изоляции провода о металлические части. Причем прокладка из прессшпана нарезается, как указано на рис. 301, *а*, и складывается вчетверо, как указано последовательно на рис. 301, *б*, *в* и *г*. Указанная форма прокладки делается для

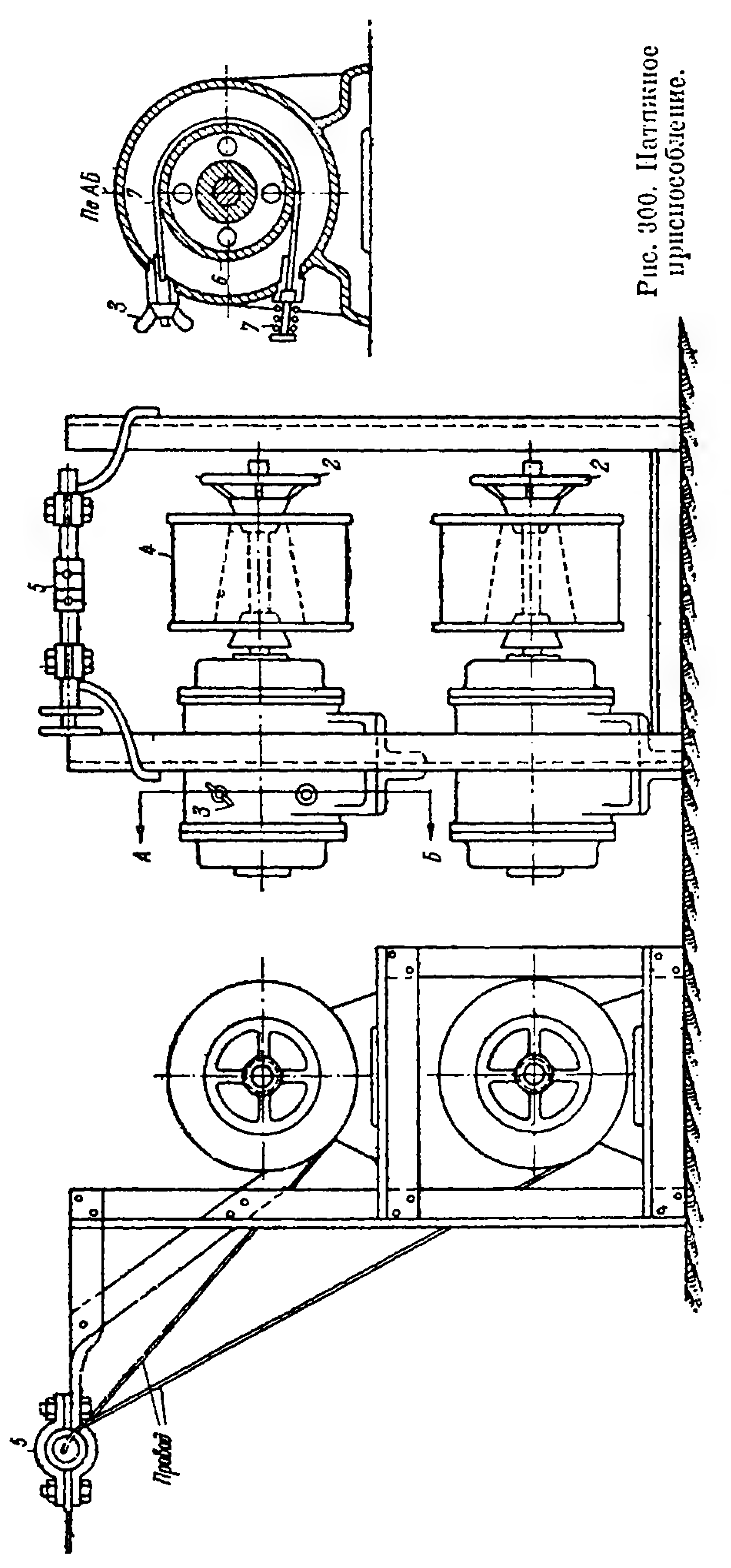


Рис. 300. Натяжное приспособление.

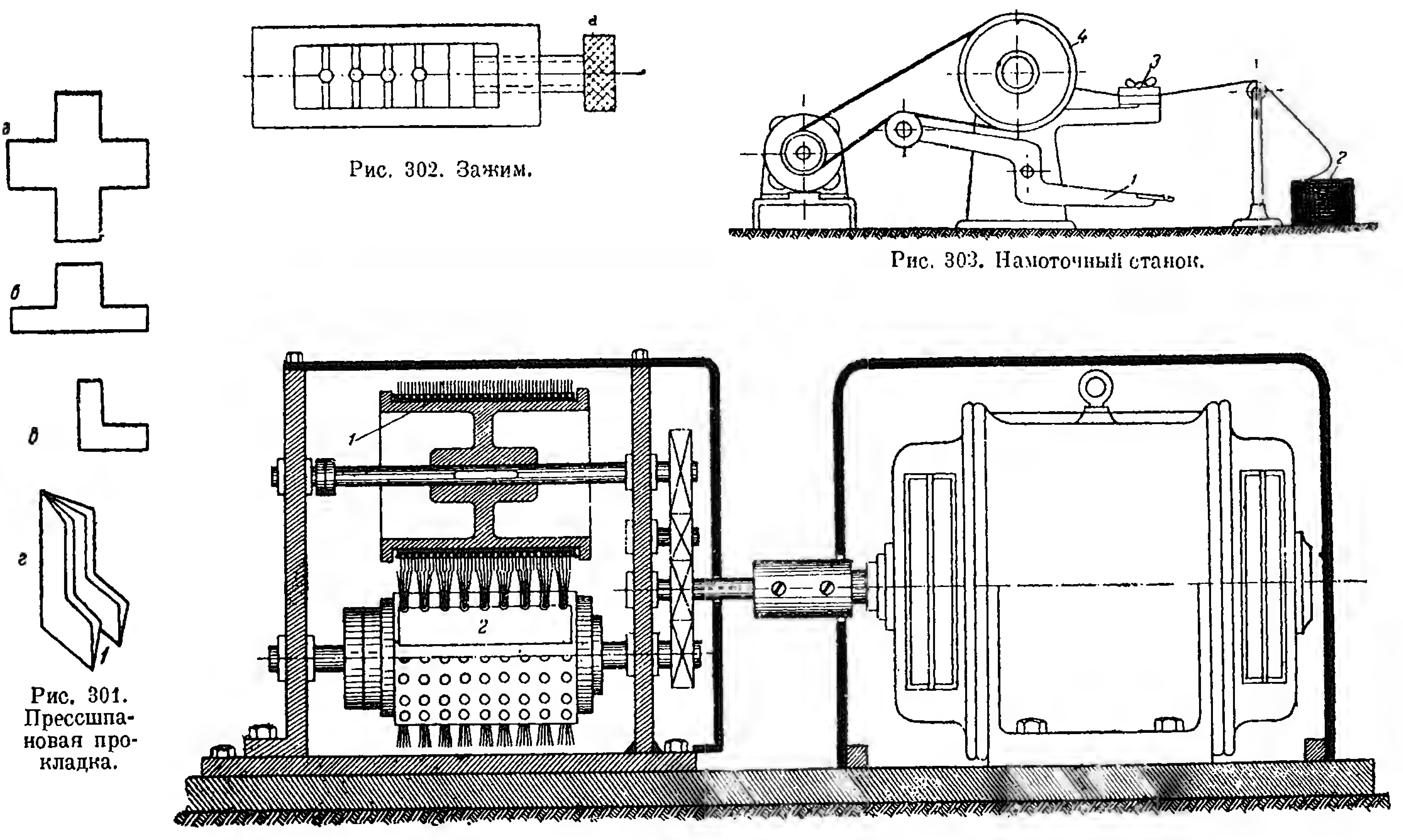


Рис. 301. Прессшпановая прокладка.

Рис. 302. Зажим.

Рис. 303. Намоточный станок.

Рис. 304. Приспособление для очистки концов.

того, чтобы во время движения она не могла выскользнуть из зажимного приспособления, от этого ее удерживают части *1*, опирающиеся о зажим. Регулировка зажима ведется также с помощью винта *а* (рис. 302). Для того чтобы бухта с проводником во время остановки не раскручивалась по инерции, применяются тормоза. При помощи барашка *3* (рис. 300) тормозят барабан *6* натяжением стальной ленты *7*.

Обмотку более крупных низковольтных машин наматывают отдельными катушками или катушечными группами, но не целой фазой. ХЭТЗ цепную обмотку вразвалку наматывает по одной катушке.

Вид намоточного станка, применяемого для этой цели, показан на рис. 303. Нажатием рычага *1* ремень от электродвигателя натягивается и включает станок. Провод из бухты *2* проходит через зажим *3* к планшайбе *4*, на которой укреплен шаблон. После намотки концы катушек очищаются от хлопчатобумажной изоляции и эмали на специальном приспособлении, продольный разрез которого показан на рис. 304.

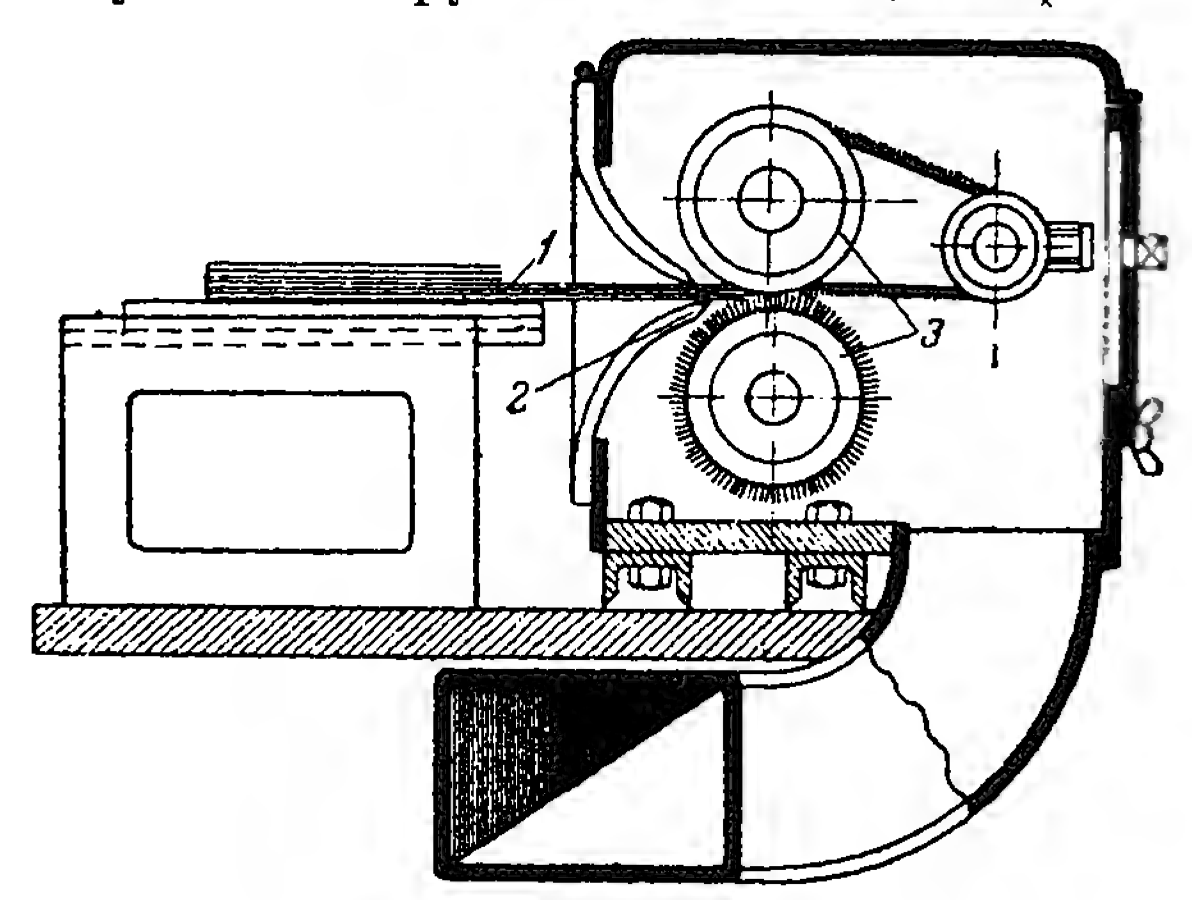


Рис. 305. Разрез приспособления для очистки концов.

Приспособление состоит из двух вращающихся металлических щеток *1* и *2*, очищающих провод от хлопчатобумажной пряжи и эмали. Щетки вращаются электродвигателем *3*, показанным на рис. 304 справа.

На рис. 305 показан поперечный разрез этого приспособления. Провод *1* пропускается через приемное отверстие *2* в промежуток между щетками *3*, которые, захватывая проводник, проводят очистку его.

На указанном приспособлении очистка одновременно 12 концов провода, диаметром в 1,5 *мм*, производится в 5 сек.

4. ИЗГОТОВЛЕНИЕ КАТУШЕК СТАТОРНЫХ ДВУХСЛОЙНЫХ ОБМОТОК

А. Заготовка катушек

Намотка двухслойных катушек обмотки ведется на обыкновенных лобовых станках, к планшайбе которых укрепляется специальное намоточное раздвижное приспособление, подобное рассмотренному нами раньше (рис. 254).

Чтобы намотать катушки этой обмотки, имеющей вид, показанный на рис. 306, производят подсчет длины растянутого шаблона, на которую следует установить кулачки в намоточном приспособлении. Пусть, например, общая длина катушки будет состоять из следующих составных частей: прямой части 480 *мм* + 2 длины лобовых частей по 145 = 290 *мм* + 2 длины закруглений при переходе от прямой пазовой части к лобовой по 2,5 *мм* = 5 *мм*. Общая длина выразится: 480 + 290 + 5 = 775 *мм*. Следовательно кулачки приспособления следует установить друг от друга на расстоянии 775 *мм*. Внутренний радиус головок принимается равным 10 *мм*. Следовательно расстояние между внутренними сторонами головок (по диаметру) должно быть равно 20 *мм*. Радиус головок со стороны выходных концов делается обычно больше (около 12,5 *мм*). Установив по месту и закрепив планкой кулачки, приступают к намотке катушек.

Слабое натяжение проводника при намотке катушек может вызвать увеличение размеров лобовых частей последних. Начало проводника прикрепляется ручными тисочками к раме раздвижного приспособления. Дальше намотка производится уже знакомым нам способом.

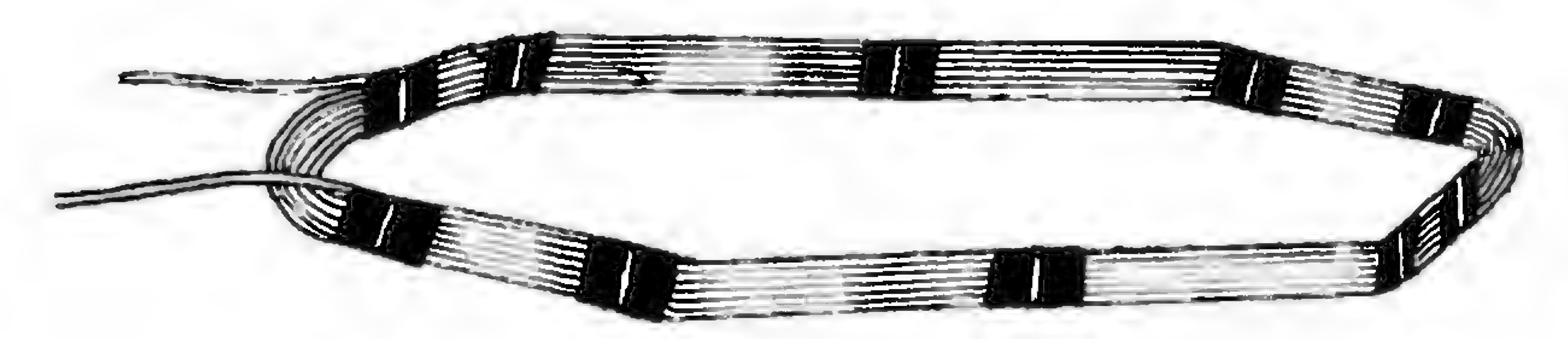


Рис. 306. Катушка двухслойной обмотки.

Намотка катушек нашего примера производится поперечной укладкой с горизонтальными прокладками. В процессе намотки в головках лобовых частей прокладывают прессшпановые прокладки. После намотки катушку скрепляют как в прямой части, так и в лобовых частях хлопчатобумажной лентой, ранее подложенной под первые витки. После намотки катушка растягивается на этом же приспособлении, как это проделывалось при намотке катушек машин постоянного тока.

Б. Рихтовка и компаундировка катушек

Снятые с намоточного станка и покрытые хлопчатобумажной лентой катушки не имеют еще тех очертаний, какие необходимы при укладке их в пазы статора. Для придания катушкам соответствующей формы в лобовых и пазовых частях производится рихтовка, которая состоит из трех основных операций: 1) отгиб лобовых частей на шаблоне, 2) основная рихтовка пазовых и лобовых частей на шаблоне и 3) выверка катушек после рихтовки на макете.

Лобовые части растянутых катушек находятся в одной плоскости с пазовыми частями. Для отгиба лобовых частей катушек применяются шаблоны с прямыми пазами, в которые вкладываются лобовые части катушки. Отгиб головок производится вручную на угол, достаточный для того, чтобы уложенные в пазы статора катушки не были выше активного железа.

Основная рихтовка производится на специальном деревянном шаблоне (рис. 307).

В пазы шаблона вставляется катушка прямыми пазовыми частями. Поворотными планками, находящимися сверху пазов, шаблон закрывается, после чего рихтуются лобовые части. Для этого пользуются деревянными или фибровым клином и ручником, которым подгоняют лобовые части вплотную к стенкам шаблона.

Благодаря рихтовочному шаблону лобовые части имеют соответствующую кривизну, пазовые части получают необходимый поворот сторон катушки (по пазам статора).

Правильность рихтованной катушки выверяется на деревянном макете, представляющем собой часть железа статора. Для выверки катушек крупных машин применяются деревянные макеты.

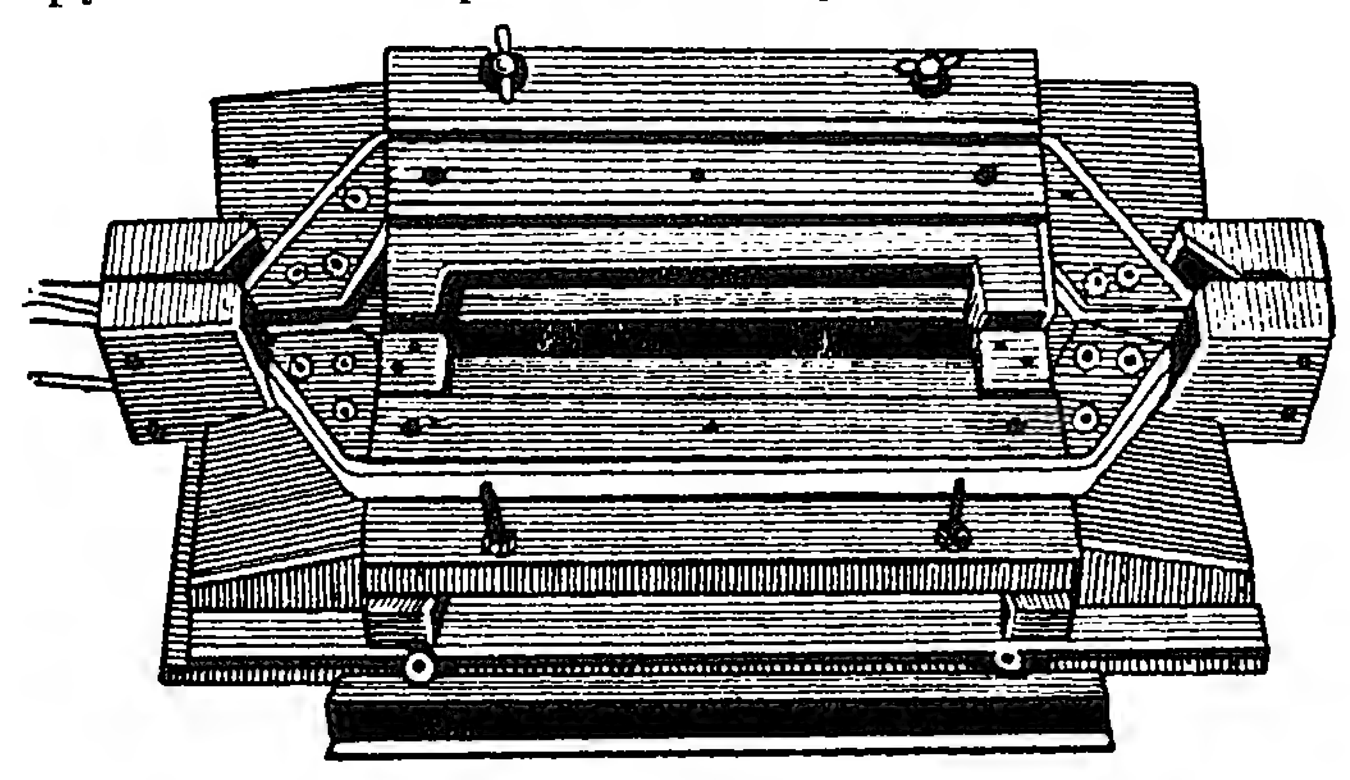


Рис. 307. Шаблон для рихтовки.

Правильная рихтовка катушек позволяет свободно их вкладывать в пазы статора. Неправильная рихтовка ведет к большим механическим усилиям при закладке сторон катушек в пазы, что влечет за собой повреждение основной изоляции. После рихтовки катушки подвергаются компаундировке, выполняемой таким же образом, как и компаундировка однослойных обмоток.

В. Предварительная опрессовка

После компаундировки с катушек снимается временная лента и катушки очищаются от излишков компаундной массы. Для придания пазовой части катушки необходимых размеров и прямолинейности производится предварительная горячая опрессовка. Для этого пазовая часть катушки обертывается одним слоем телефонной бумаги, толщиной 0,15 *мм*, и катушка поступает на пресс для опрессовки до требуемого размера.

Предварительная опрессовка пазовых частей состоит в следующем: 1) удаление излишков компаундной массы, 2) выпрямление витков на прямых частях и доведение пазовой части до требуемого размера.

Для целей предварительной опрессовки служит пароводяной пресс.

Закладка катушек и их опрессовка производятся следующим образом.

Пазовая часть катушки укладывается на нижнюю прессипланку *НПП* (рис. 308) между двух боковых планок *БП* и закрывается верхней планкой *ВП*, сверху которой устанавливается нажимная планка *НП*. Для того чтобы не сдавить витки, на одну из плит *П* ставится контрольная планка *КП*, размеры которой должны быть строго выдержаны. Размеры по высоте двух планок *КП* и *П* должны быть равными трем планкам *НП*, *ВП* и *НПП* + требуемый размер по высоте самой катушки (*К*).

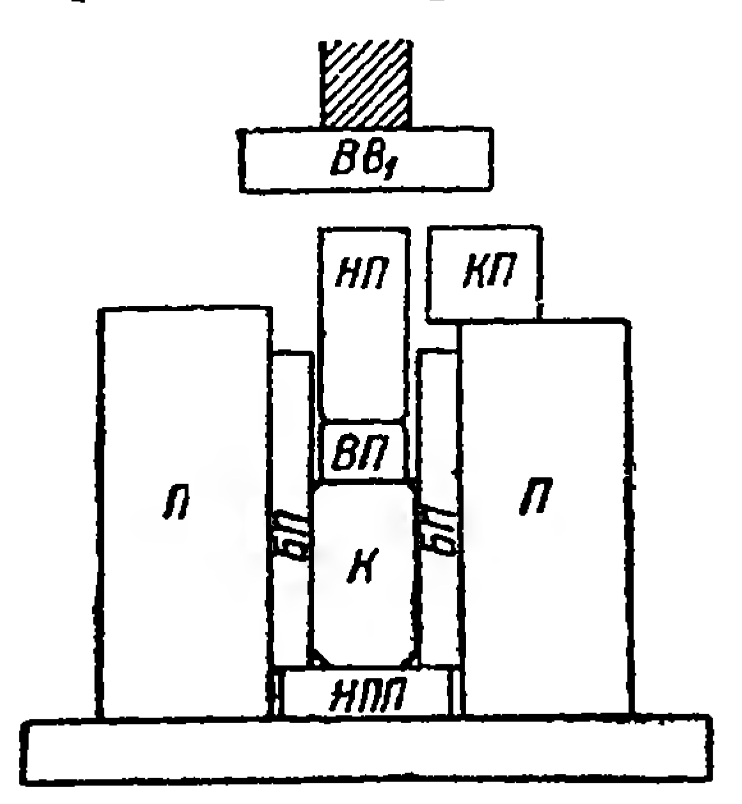


Рис. 308. Принципиальное устройство пароводяного пресса.

После укладки сторон катушки в плиты *П*, *П* пропускается пар. Когда катушка достаточно разогреется и компаундная масса достаточно размягчится, дается полное боковое давление боковыми винтами (на рисунке они не указаны), а потом и вертикальное давление при помощи верхней планки BB_1. Под давлением пресса и тепла излишки компаунда выжимаются.

Далее доступ пара прекращают и в плиты *П*, *П* пропускают холодную воду.

После полного охлаждения компаунда катушка вынимается из пресса, снимается телефонная бумага; после этого катушки отправляются для наложения основной микафолиевой изоляции.

Г. Выполнение изоляции на 3000 и 6000 V

Изоляция лобовой части катушки на стороне, противоположной выходным концам, ведется следующим образом. Отступя на 16 *мм* от угла загиба, на лобовую часть накладывают ленту из лакоткани, толщиной в 0,2 *мм*, и ведут в полнахлестки до середины лобовой части катушки, где этот слой и закрепляется. После этого, отступя на 8 *мм* от начала первого слоя лакоткани, начинают накладывать второй ее слой, который ведется также до середины лобовой части катушки и закрепляется, не доходя до нее двух оборотов. Эти два слоя лакоткани образуют ступень. Вся операция называется операцией выполнения «внутреннего конуса». На стороне выходных концов сначала изолируют концы лакотканью, шириною 10—15 *мм*, толщиной 0,2 *мм*, в два слоя в полнахлестки, причем начинают изолировку от середины лобовой части. Внутренний конус выполняется так же, как и на противоположной стороне. После этого пазовую часть обертывают листами микафолия, служащего изоляцией пазовой части.

Наложение микафолия на прямую часть катушки производится следующим образом. Выверяют сумму сторон сечения катушки. Например, если ширина катушки равна 20 *мм*, высота — 60 *мм*, то сумма сторон катушки будет $2 \cdot 20 + 2 \cdot 60 = 160$ *мм*. Если изоляцию следует выполнить толщиной 1,5 *мм*, то берут микафолий, толщиной

0,3 *мм*. Следовательно надо взять 5 оборотов микафолия. Длина микафолия на каждый оборот равна 160 *мм*. Значит лист микафолия по ширине должен иметь размер 160 · 5 = 800 *мм*. К высчитанной ширине необходимо дать припуск примерно 25 *мм*, так как последующие обороты будут длиннее первого, т. е. изоляция по ширине нарезается в 825 *мм*.

Лобовые части изолированы, как указано выше, лакотканью ступенчато, поэтому для равномерного наложения микафолия, чтобы не было утолщения, необходимо сделать вырезки с двух сторон (по длине) микафолия в виде ступеней, или же микафолий срезается на конус к концу.

Далее производится наложение микафолия на пазовую часть катушки. Каждый оборот накладываемого микафолия проутюживается двумя работницами. Одна из них утюжит, а вторая после утюжки для ровного прилегания микафолия и устранения складок плотно приглаживает место утюжки сухой тряпкой отрывистыми движениями рук по направлению оборачивания микафолия.

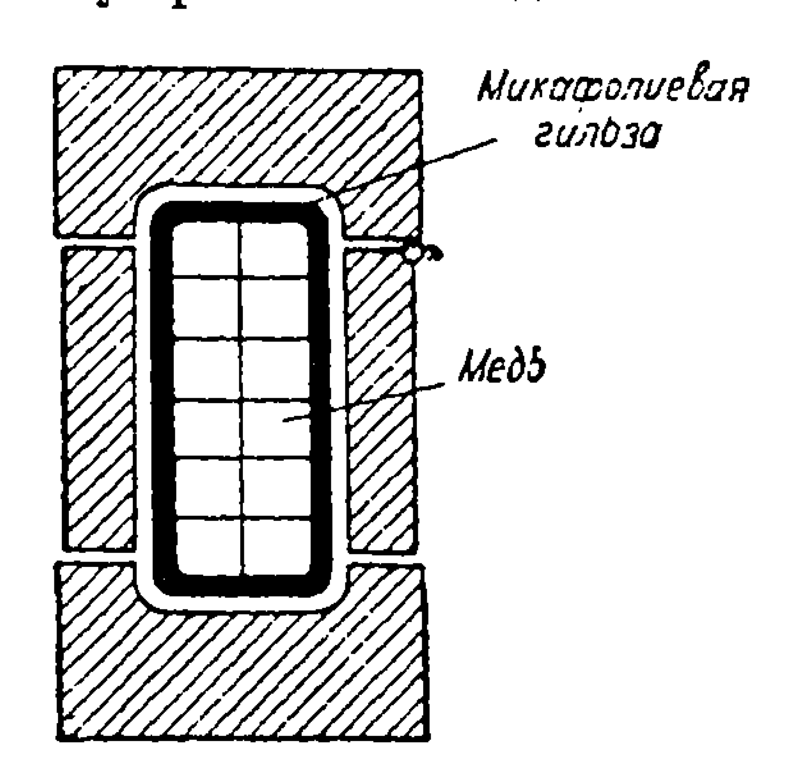


Рис. 309. Коробчатые пресспланки.

После наложения микафолия катушки поступают на вторую опрессовку. Вторая опрессовка производится в тех же пароводяных прессах, но в коробчатых пресспланках (рис. 309), внутренний размер которых равен размеру опрессованной катушки. Стороны катушек выдерживаются до размягчения шеллака в микафолиевой гильзе. Затем для скорейшего остывания по плитам пропускается вода. Катушка выдерживается в прессах до полного остывания. После опрессовки микафолиевой изоляции с концов ее удаляют выжатый компаунд и шеллак, и катушки поступают на дальнейшую изолировку лобовой части и головок.

После опрессовки пазовой части на лобовую часть накладывают ленту из лакоткани на небольшом участке, толщиной 0,2 *мм*, и затем поверх нее накладывают еще один оборот лакоткани в полнахлестки той же толщины. Слои лакоткани накладываются на микафолиевую опрессовку примерно над местом начала 1-го слоя лакоткани, который наложен под микафолием, и ведутся в полнахлестки до той же точки на другой стороне, причем изолировка головки выполняется в три четверти нахлестки. Лакоткань доводят до второй стороны катушки и закрепляют ее здесь, отступя 16 *мм* от края опрессовки.

Поверх лакоткани накладывается хлопчатобумажная лента, толщиной 0,15—0,18 *мм*, от опрессовки до середины головки с той или другой стороны лобовых частей. Ленту закрепляют шеллачным или бакелитовым лаком.

После выполнения изоляции лобовая часть прокрашивается быстросохнущим лаком два раза, и катушка считается готовой и передается

на испытание электрической прочности пазовой изоляции, а также и на витковое.

При выполнении изоляции на 6000 V толщина наложенной изоляции микафолия на пазовую часть должна быть порядка 2,3—2,5 *мм*, т. е. более чем в случае изоляции на 3000 V. Внутренний конус (рис. 310) выполняется пятью слоями лакоткани в полнахлестки. По верху миканитовой опрессовки наложен один слой лакоткани и один слой тафтяной ленты, толщиной 0,18 *мм*.

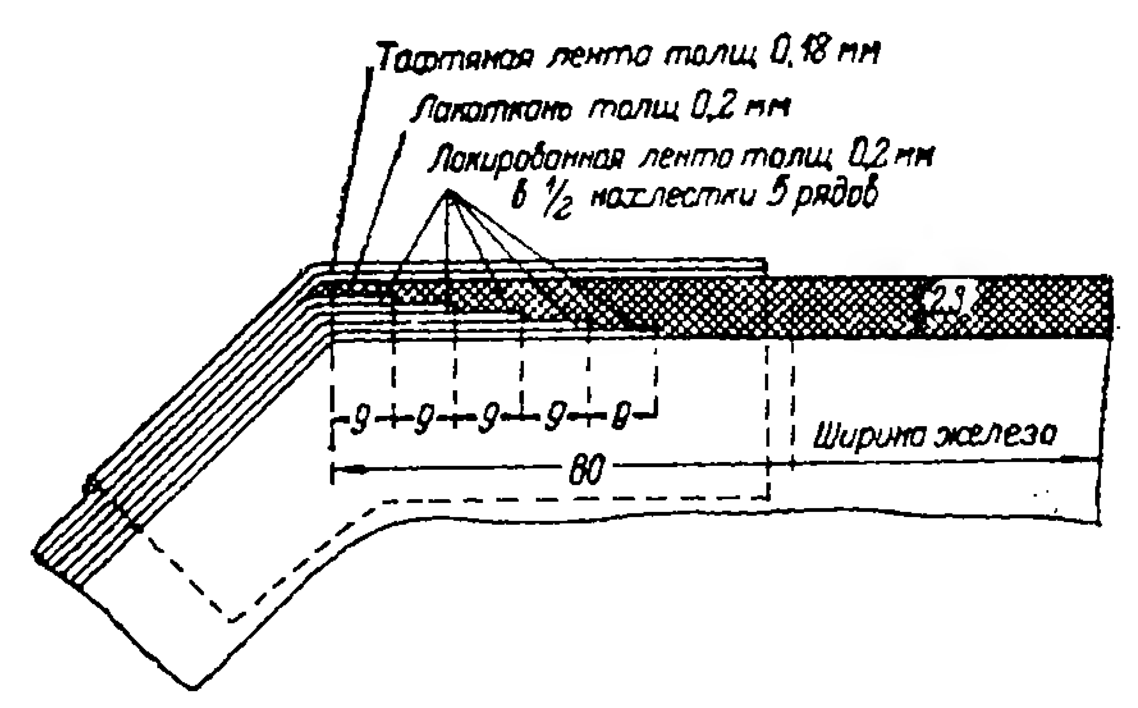


Рис. 310. Выполнение изоляции на 6000 V.

Конус выполняется также уступами на длине 45 *мм*; каждый слой накладывается, отступя от предыдущего на 9 *мм*. Толщина листов микафолия берется 0,35—0,5 *мм*.

Изолировка концов выполняется пятью слоями лакоткани и одним слоем тафтяной ленты.

Процессы наложения микафолиевой изоляции и выполнение конуса аналогичны описанным (для изоляции при напряжении 3000 V).

Д. Непрерывная изоляция

После намотки и растяжки на станке катушка проходит следующие операции:

1-я операция — изолировка витков и подготовка к компаундировке;

2-я операция — первая компаундировка;

3-я операция — опрессовка;

4-я операция — изолировка;

5-я операция — вторая компаундировка;

6-я операция — окончательная изолировка.

Изолировка нормальных витков, т. е. прокладка горизонтальных прокладок и подготовка к первой компаундировке, ведется аналогично описанной ранее.

Операция первой компаундировки или пропитки ведется следующим образом. Катушки загружают в компаундный котел и ведут просушку в течение 4 часов под вакуумом. Затем в котел впускают компаундную массу и ведут пропитку в течение 4 часов под давлением. Компаундная масса при этом заполняет все имеющиеся пустоты в изоляции витков и между проводниками. Так как после пропитки размеры катушек увеличиваются вследствие излишков наплывшей компаундной массы, то производят опрессовку пазовой части. Опрессовку производят в прессе под давлением с паровым подогревом. Под давлением катушка находится несколько минут, причем из нее выдавливается лишняя компаундная масса, придается монолитность и

прямолинейность пазовой части, и размер катушки доводится до требуемого.

Прессовки лобовой части катушки не производят.

Катушки охлаждают в прессе, пропуская воду по нажимным плитам, и вынимают. Затем с катушки снимают наложенную временно хлопчатобумажную ленту с телефонной бумагой, удаляют выжатую компаундную массу, и катушка поступает на изолировку.

Изолировка выполняется микалентой, шириной от 10 до 15 *мм* и толщиной от 0,1 до 0,15 *мм*. Микалента накладывается в полнахлестки от 7 до 9 рядов по всей катушке непрерывно. Накладывать микаленту надо очень тщательно, так как микалента механически очень непрочна, и возможны частые ее изломы и обрывы. Для наложения микаленты требуется известный навык.

В процессе наложения изоляции катушка промазывается асфальтовым лаком (раствор в бензоле), которым обильно промазывается и вся микалента. Выходные концы изолируются четыре раза в три четверти нахлестки микалентой и для лучшего закрепления перевязываются шпагатом в лобовой части у загиба головки.

Поверх наложенных слоев микаленты накладывается хлопчатобумажная лента, шириной от 25 до 60 *мм* и толщиной от 0,2 до 0,25 *мм*, в полнахлестки. Накладываемая хлопчатобумажная лента должна быть достаточно затянута. Далее катушки передаются на вторую компаундировку, которая является самым сложным процессом при выполнении непрерывной изоляции.

Выше было указано, что как самая микалента, так и отдельные ее слои во время наложения изоляции смазываются асфальтовым лаком, в котором содержится большой процент растворителя (бензола). Следовательно катушка содержит в себе много влаги. Для удаления последней и применяется вторая компаундировка.

Операция второй компаундировки состоит из нескольких приемов: а) трехчасового предварительного нагрева, б) пятичасовой сушки под вакуумом, в) часового прогрева, г) шестичасовой сушки под вакуумом, д) шестичасовой пропитки под давлением.

Из сказанного видно, что процесс сушки занимает больше времени, чем компаундировка. Сушка производится при вакууме не менее 740—750 *мм* ртутного столба, лишь такой вакуум обеспечивает надлежащие результаты компаундировки. При более низком вакууме, т. е. ниже 740 *мм*, нельзя получить удовлетворительных результатов. При вакууме выше 740 *мм* возможно удалить из катушки всю влагу, которая так обильно содержится в ней при непрерывной изоляции.

При компаундировке большое значение имеет и температура, при которой она должна производиться. Особенно важно, чтобы при впуске в пропиточный котел температура компаундной массы и температура катушек были одинаковы. В противном случае весь процесс будет загублен, и компаундировка потребуется снова.

Второй и очень важный прием — пропитка под давлением. Как было указано ранее, пропитка должна продолжаться 6 часов при условии хорошо разогретой компаундной массы и при давлении не менее 7 *кг* на кв. сантиметр. При этом давлении в данном процессе катушки опрессовываются гидростатическим путем.

В случае, если катушки изготовляются из нескольких параллельных витков, причем каждый виток должен изолироваться от другого микалентой, а не прокладками из полос микаленты, вводится новая операция — третья компаундировка. Катушка нормально, как описано выше, проходит первую компаундировку и предварительную опрессовку. После этого витки разъединяются и накладывается витковая изоляция из микаленты. Накладывается микалента так, как уже было описано. Как витки катушки, так и накладываемая лента обильно смазываются шеллачным или асфальтовым лаком. После этого витки комплектуются опять вместе и катушка плотно стягивается временной хлопчатобумажной лентой.

Далее катушки поступают на вторую опрессовку под пресс с подогревом при небольшом сравнительно давлении, а отсюда на вторую компаундировку, после которой снимается временная лента с прилипшей к ней компаундной лентой. Затем по всей длине катушки накладывается основная изоляция из микаленты так, как это было описано выше. Поверх микаленты накладывается опять хлопчатобумажная лента, и катушки поступают на третью компаундировку.

После третьей компаундировки катушкам дают остыть, снимают временную ленту и измеряют размеры прямой части обмотки как по высоте, так и по ширине. В тех местах, где размеры уменьшены, подклейкой листочков слюды доводят катушку до необходимого размера. На прямую (пазовую) часть накладывают хлопчатобумажную ленту встык, чтобы не увеличивать значительно размеров катушки.

Поверхность ленты покрывают асфальтовым лаком воздушной сушки или шеллачным. С выходных концов снимают ленту и очищают залуженную часть от прилипшей к ней компаундной массы, после чего катушки считаются готовыми и подвергаются испытанию на корпусное и витковое.

ГЛАВА X

ИЗГОТОВЛЕНИЕ КАТУШЕК ВОЗБУЖДЕНИЯ

1. НАМОТКА ШУНТОВЫХ КАТУШЕК

А. Изолировка каркасов

Намотку шунтовых катушек производят либо на изолированные железные каркасы, либо на деревянные оправки; после намотки катушки снимаются с оправки и надеваются на изолированный каркас, который затем насаживается на сердечник. Иногда катушки наматываются прямо на изолированный сердечник.

Каркасы обычно делаются из листового железа, толщиной от 0,5 до 2 *мм*.

Перед намоткой катушек на каркас необходимо последний покрыть изоляцией. При изолировке следует учитывать среду, в которой будет работать машина: если она будет работать в сыром помещении, то изоляция должна быть выполнена из миканита; для работы в сухом помещении каркасы изолируются обычно прессшпаном, толщиной

от 0,5 до 1 *мм*, в 2—4 слоя. Изоляция каркасов выполняется следующим образом. По всем четырем сторонам каркаса накладывается в два слоя полоса прессшпана, толщиной 1 *мм*. Ширина прессшпана должна быть равна высоте каркаса, причем прессшпан должен прочно упираться краями в отогнутые стороны каркаса. Начало и конец прессшпана обрезаются на конус для того, чтобы избежать утолщения в этом месте. Для избежания развертывания прессшпана поверх него наматывается хлопчатобумажная лента вразбег. Затем из прессшпана вырезаются четырехугольные шайбы с таким расчетом, чтобы их края выступали за намотанную катушку на 10—15 *мм* с каждой стороны. В нарезанных четырехугольниках намечается ширина и длина изолированного каркаса, а затем вырезается отмеченная часть. Полученные таким образом шайбы надеваются на каркас. Для этого они разрезаются на короткой стороне наискось, но ни в коем случае не прямо, и по две накладываются на отогнутые части железного каркаса, причем шайбы должны быть уложены так, чтобы разрезы их помещались на разных сторонах каркаса. Надев шайбы, со средней части каркаса снимают временно наложенную ленту и приступают к намотке катушек.

Каркасы для намотки шунтовых катушек, предназначенных для работы в условиях повышенной влажности, имеют обычно один торцовой бортик отогнутым. Изоляция, накладываемая на сердечник каркаса, состоит из 3—4 слоев гибкого миканита. Перед нанесением изоляции сердечник каркаса промазывается шеллачным лаком; горячим утюгом миканит приклеивают к сторонам каркаса и к слоям миканита. После нанесения соответствующей толщины миканита надевают миканитовую шайбу и укладывают ее на отогнутый бортик каркаса. После намотки катушек поверх выводного конца укладываются миканитовая и железная шайбы и затем отгибается второй бортик.

Б. Намотка катушек на каркас

На некоторых заводах для намотки катушек возбуждения применяют приспособление, изображенное на рис. 311.

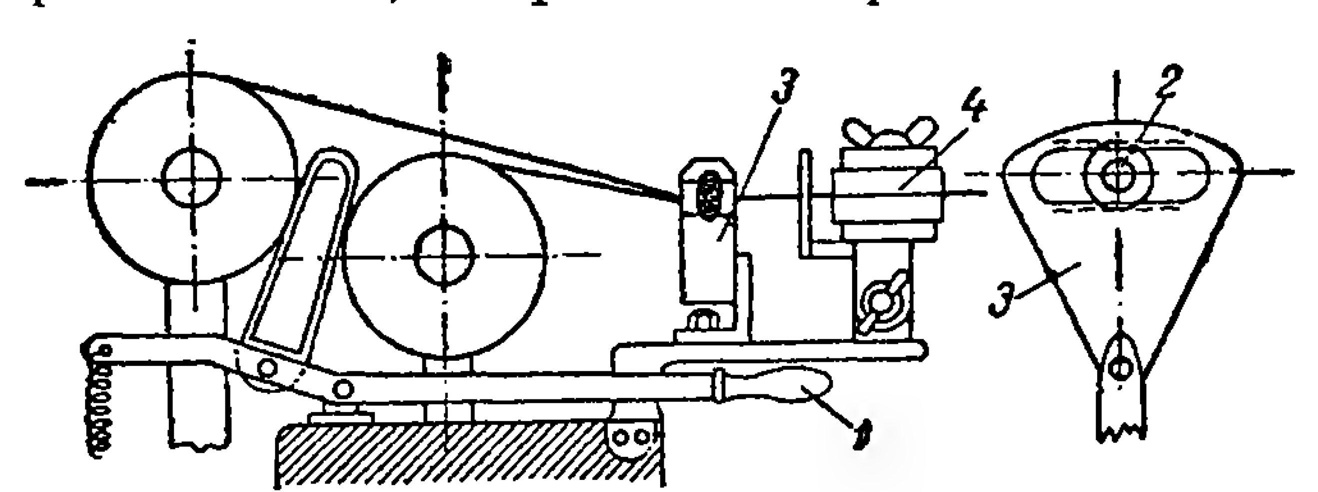


Рис. 311. Приспособление для намотки катушек.

Рукоятка *1* в процессе намотки производит торможение барабанов с надетыми на них бухтами провода.

Натяжение проводника осуществляется демфирующим скользящим глазком *2*, закрепленным в планке *3*, и сжимающим приспособлением *4*, состоящим из двух гэтинаксовых (а на некоторых станках и стальных) планок.

Для того чтобы намотать шунтовую катушку на изолированный каркас необходимо внутрь каркаса вставить деревянный сердечник, изготовленный по внутреннему размеру каркаса. К планшайбе намоточного станка прикрепляется болт, и на него надевается деревянная планка, а также деревянный сердечник с каркасом, прочно закрепляемые на планшайбе.

К начальному концу проводника припаивается выводной конец катушки. Его тщательно изолируют лакотканью или хлопчатобумажной лентой и укладывают на каркас. Укрепив конец на каркасе, приступают к намотке катушки. Для избежания возможного соединения с корпусом первый и последний витки нижнего ряда, лежащие у стыков изоляции сердечника и шайб, изолируют лакотканью.

Для лучшей укладки провода витки подколачиваются друг к другу при помощи фибрового клина и деревянного ручника. Обычно одна половина приходящихся на машину катушек наматывается «недоводом», вторая — «переводом» (т. е. концы катушек меняют местами). Это необходимо для того, чтобы две рядом расположенные катушки можно было просто соединить без длинных торцовых соединительных и перекрещивающихся кабелей.

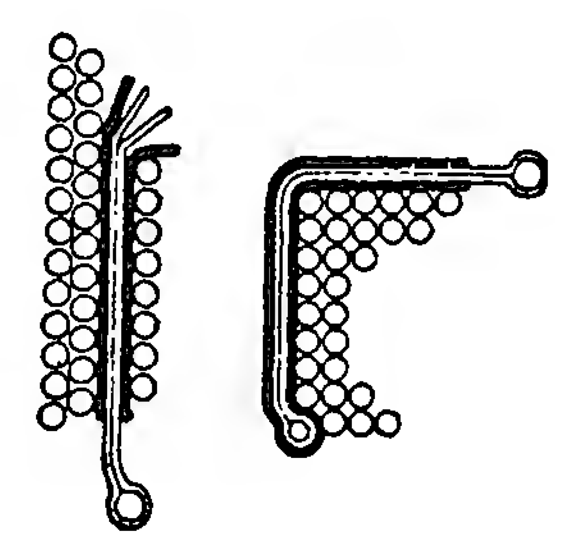


Рис. 312. Крепление выводов катушки.

Чтобы укрепить второй выводной конец катушки, поступают следующим образом: перед концом намотки прокладывается изогнутая выводная пластина (вывод) из плоской меди с ушком на одном конце, хорошо пролуженная и изолированная лакотканью; при дальнейшей намотке она закрепляется 5—10 витками (рис. 312).

Количество наматываемых витков катушки определяют по счетчику, который имеется на станке. Намотав последний виток, откусывают проволоку и конец катушки припаивают к облуженному концу заранее уложенной пластины.

Намотанные катушки проверяют контрольной лампой для уверенности в отсутствии обрывов и, кроме того, определяют правильность размеров катушек.

Во время наложения переходных витков из одного ряда в другой для избежания виткового соединения подкладывают изоляцию из лакоткани, гибкого миканита или хлопчатобумажной ленты.

Изготовленные катушки испытываются на корпус и витковое. После испытания они поступают в печь для просушки и затем на пропитку.

В. Намотка шунтовых катушек на оправку

Оправки для намотки катушек изготовляются из крепких пород дерева — бука, дуба или березы (рис. 313). Обычно оправка делается разъемной для лучшего снятия с нее катушки после намотки.

Размеры оправки делаются с припуском по ширине и длине на изоляцию катушки. Припуск на высоту обычно не дается, даже лучше взять высоту, немного меньшую против нормальной, так как сня-

тая с оправки катушка увеличивается в своих размерах вследствие того, что проволока пружинит.

Торцовые доски к деревянным оправкам делаются с углублением по ширине и длине средней части оправки на 3—5 *мм*, чтобы не было смещения средней части относительно досок. В каждой доске делается по четыре прореза, куда перед намоткой катушки вкладываются заранее нарезанные отрезки хлопчатобумажной ленты для связывания витков катушки.

Оправка с досками укрепляется на станке. Перед намоткой катушки необходимо в прорезы досок проложить хлопчатобумажную ленту, выпустив ее концы по обе стороны оправки и закрепив их на досках. Это позволяет сделать несколько раз стяжку витков в процессе намотки и тем самым предупредить разбухание катушки.

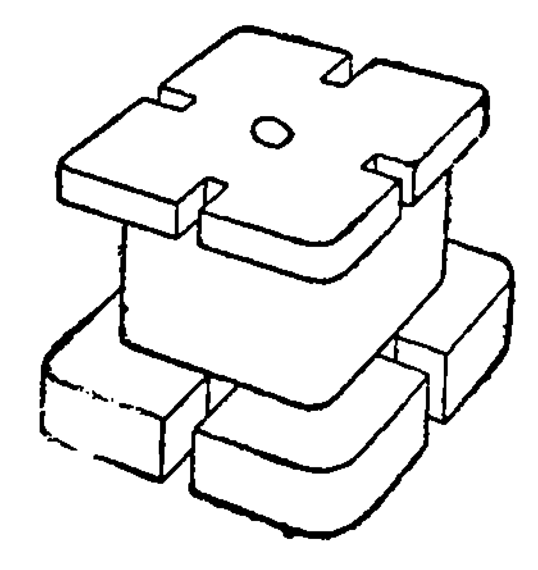


Рис. 313. Оправка для намотки катушек.

Намотав требуемое число витков, катушку скрепляют с четырех сторон концами хлопчатобумажной ленты, после чего отвинчивают гайки, снимают оправку с досками и ручником, выбивают оправку из намотанной катушки. Проверив размеры катушки и убедившись в их правильности, приступают к намотке остальных катушек.

Если размеры получились меньше требуемых, то на оправку накладывают прессшпан; в случае увеличения размеров изменяют размер оправки.

Намотанные катушки поступают на изолировку, которая выполняется следующим образом: на внутренние боковые, а также на наружные торцовые стороны катушки, т. е. на те части катушки, которые будут соприкасаться с железным сердечником, накладывают полоски прессшпана, толщиной от 1—2 *мм*, поверх которых накладывается хлопчатобумажная лента в полнахлестки.

Изолированные катушки проверяются контрольной лампой на обрыв и витковое соединение и далее поступают на просушку и пропитку. После пропитки и следующей за ней просушки катушкам в горячем состоянии придается соответствующая форма на ручном прессе.

Для лучшей отдачи тепла обмотку часто секционируют. В этом случае обмотка изготовляется несколькими секциями на оправках, подобных рассмотренным. После намотки отдельных секций последние надеваются на изолированный миканитом каркас; между отдельными секциями ставятся дистанционные прокладки, прикрепляемые несколькими оборотами шнура, подвязываемого вокруг изолированного каркаса. Затем секции соединяются между собою последовательно при помощи скобочек или перевязкой соединяемых концов катушек тонкой луженой медной проволокой с соответствующей пропайкой оловом. При соединениях секций между собой следует учитывать, что протекание тока в катушке при работе должно быть в одном направлении. Изоляция соединений секций между собой производится лакотканью и сверху хлопчатобумажной лентой.

Намотка шунтовых катушек для крупных прокатных двигателей производится на станке «Эрликон» из плоской голой меди, наматывае-

мой на ребро. Витки наматываются на специальную стальную оправку. Процесс намотки и другие последующие операции аналогичны процессам изготовления катушек возбуждения синхронных машин (см. далее).

2. НАМОТКА КОМПАУНДНОЙ (ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОЙ) ОБМОТКИ

Витки компаундной обмотки наматываются большей частью из литцы, которая состоит из нескольких тонких проволок, скрученных вместе. Сечение литцы бывает плоским и квадратным. Литца изолирована хлопчатобумажной пряжей в два слоя, поверх пряжи имеется также хлопчатобумажная оплетка. Витки компаундной обмотки располагаются или поверх шунтовой обмотки главного полюса, или же рядом с ней.

Если намотка компаундной катушки ведется поверх шунтовой, то на последнюю накладываются два оборота изоляции из прессшпана, толщиной 0,5 *мм*. На прессшпан наматывается необходимое число витков компаундной обмотки. Для скрепления намотанных витков, а также для закрепления выводных концов прокладывается английский шнур.

При намотке компаундных катушек на один каркас с шунтовыми — раньше наматывается компаундная обмотка. Для отделения ее от шунтовой между ними прокладывается изоляция из двух прессшпановых шайб, толщиной 1 *мм*. Выводные концы крепятся несколькими оборотами английского шнура, нанесенными вокруг последнего витка.

3. НАМОТКА КАТУШЕК ДОБАВОЧНЫХ ПОЛЮСОВ

Катушки добавочных полюсов наматываются из голого медного проводника различной формы и сечения (квадратная и плоская). Катушки наматываются на стальные оправки или на изолированные каркасы и полюса. Намотка катушек производится от себя в отличие от намотки шунтовых катушек, намотка которых производится на себя.

А. Намотка катушек на оправку

Для этой цели служат стальные закаленные оправки, имеющие некоторый припуск по ширине и длине против размеров неизолированного железного сердечника полюса. На рис. 314 показана такая оправка, средняя часть которой разрезана наискось. В теле одной половины в плоскости разреза сделана по всей длине оправки выточка (канавка), на другой половине имеется выступ, который входит в выточку первой половины. Это делается для того, чтобы легко было выколотить оправку из намотанной катушки. На рисунке также видно, что оправка имеет две крайних шайбы, в которые входит средняя ее часть. Шайба, прилегающая к планшайбе станка, имеет два отверстия для болтов, которыми она прикрепляется к планшайбе станка при намотке. Собранная оправка закрепляется со второй стороны центром задней бабки станка. Устройство зажима для протаскивания провода такое же, как и для намотки шунтовых катушек, но с той лишь разницей, что

здесь не требуется прессшпановых прокладок, так как медь применяется голая.

Перед началом обмотки выпускается выводной конец будущей катушки и прикрепляется струбциной к планшайбе с таким расчетом, чтобы последующие витки ложились ребром, т. е. узкой стороной, на стальную оправку.

Сжав медь болтами в зажимном приспособлении и этим создав необходимое натяжение, приступают к намотке катушки. Для изгиба меди на ребро на закруглениях оправки применяются специальные приспособления, изготовленные из железа и имеющие вид вилки. Внутренний размер вилки делается немного более толщины проводника. Благодаря вилке проводник при намотке на оправку ложится под прямым углом. В процессе намотки катушки после каждого оборота проводник осаживается ударами ручника по фибровому клину, наложенному на медь.

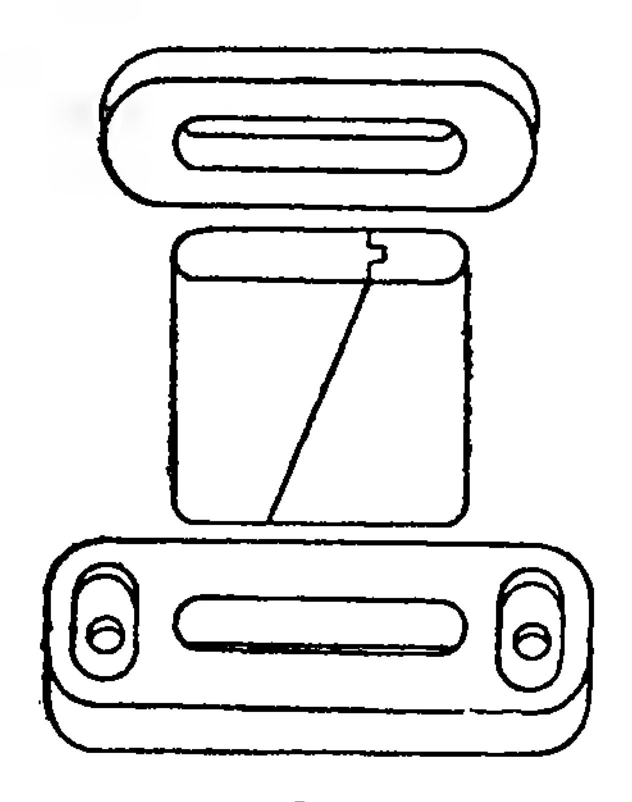


Рис. 314. Оправка для намотки катушек добавочных полюсов.

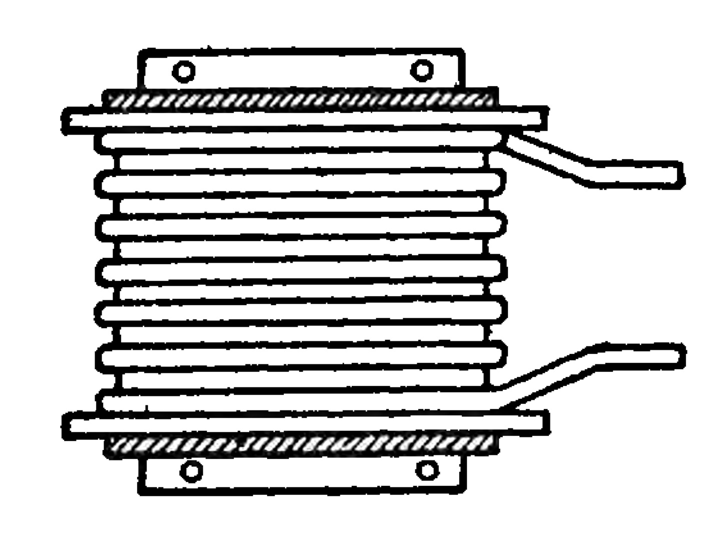


Рис. 315. Добавочный полюс.

После намотки необходимого количества витков выпускается также второй выводной конец катушки, а затем при помощи шарнирных ножниц проводник обрезается и намотанную катушку снимают со станка вместе с оправкой, оставляя первую шайбу закрепленной на планшайбе. Средняя часть оправки выбивается, и катушка освобождается.

Намотанные катушки связываются каждая отдельно и затем поступают на отжиг (процесс отжига дан при описании изготовления катушек синхронных машин).

После отжига снимают пилой заусенцы и острые углы витков. Затем катушки рихтуются на специальном шаблоне, на котором им придается необходимая форма.

Готовые катушки надеваются на изолированные полюса, на которых и закрепляются. Для этого у мест закругления прокладываются деревянные прокладки, пропитанные в олифе или вареном масле. На нижнюю и верхнюю части катушек накладывается изоляция в виде шайб из прессшпана или миканита, смотря по условиям, в которых будет работать машина. Сверху изоляции накладываются железные шайбы. Для изоляции витков друг от друга между ними обычно прокладывается в несколько рядов английский шнур. По существу английский шнур

является дистанционной прокладкой, отделяя витки друг от друга и создавая хорошее охлаждение катушек. Иногда выводные концы закрепляются при помощи деревянных колодок и английского шнура или просто шнуром, крепящим выводные концы к сердечнику полюса.

Готовые полюса испытываются на пробивное напряжение, после чего идут на просушку и последующую пропитку. На рис. 315 показан добавочный полюс в собранном виде.

Б. Намотка катушек на полюс

Намотка на полюс производится из меди различных сечений — 2 × 80 *мм*, 1,5 × 100 *мм* или 2 × 60 *мм*. Катушки наматываются на изолированный сердечник полюса широкой стороной проводника; намотка ведется в два ряда. Она производится на тех же лобовых намоточных станках, что и при намотке на оправку.

Перед намоткой катушек производят заготовку проводника. Для этого от бухты отрезаются два куска проводника такой длины, чтобы из них можно было намотать витки обоих рядов. Куски отрезанных проводников соединяют между собой до намотки соединительными пластинами. Пластины и прилегающие к ним части проводников склепываются и залуживаются. Конец одного отрезка проводника, из которого будет намотан внутренний ряд витков, соединяется тисками или струбцинами у зажима с концом проводника, идущим от бухты. Второй конец этого отрезка укрепляется на планшайбе струбциной. При намотке первого ряда второй отрезок проводника временно остается обернутым около полюса; чтобы он не мешал во время намотки, его укрепляют. Под каждый виток проводника одновременно с намоткой прокладывается изоляция из прессшпана или летероида. Изоляция нарезается ранее, толщиной 0,3—0,5 *мм* и шириной более ширины меди на 3—4 *мм* (по 1,5—2 *мм* на сторону).

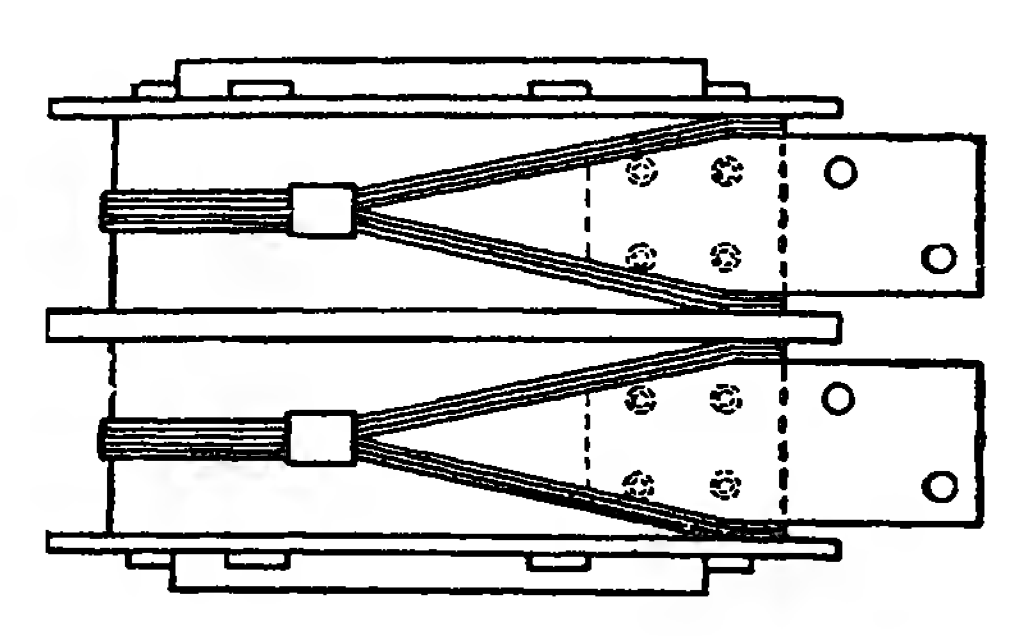


Рис. 316. Бандажированный добавочный полюс.

Во время намотки как первого, так и второго ряда витков медь осаживается легким постукиванием ручником по фибровому клину, наложенному на витки, через каждые полоборота. После намотки первого ряда витков полюс снимается со станка.

Первый намотанный ряд витков временно скрепляется бандажами из мягкой железной проволоки, чтобы во время размотки витков второго ряда он не мог развертываться. Затем свободный конец отрезка меди прикрепляется к меди бухты, так же как и в первом случае; описанным выше способом производят намотку и второго ряда обмотки полюса. Между верхним и нижним рядами витков прокладывают изоляцию в виде шайб из пропитанного прессшпана, толщиной 2 *мм*

и шириной на 5 *мм* на сторону более ширины намотанного первого ряда. К обоим концам катушки после намотки приклепываются медные пластины (рис. 316).

Для укрепления проводников катушки на полюсе накладывают бандажи из стальной луженой проволоки, диаметром от 0,5 до 1 *мм*, с числом витков от 8 до 10. Наложение бандажей производится на том же станке. Под бандаж по всей окружности прокладывается изоляция из прессшпана, толщиной 0,5 *мм*. Концы бандажной проволоки скрепляются скобами-замками по две на сторону, и весь бандаж пролуживается. Забандажированная катушка добавочного полюса показана на рис. 316.

После бандажировки полюса с намотанной обмоткой подвергаются проверке размеров, а затем испытанию высоким напряжением, после чего идут на просушку и пропитку.

4. ПОКРЫТИЕ МИКАНИТОМ ПОЛЮСОВ ДЛЯ ВЛАГОСТОЙКИХ МАШИН ПОСТОЯННОГО ТОКА

Покрытие миканитом полюсов производится следующим образом. Нарезанный ручными ножницами по определенному размеру миканит, толщиной 0,9 *мм*, промазывается шеллачным лаком и подогревается на обыкновенной электропечи, причем смазанную сторону пластинки

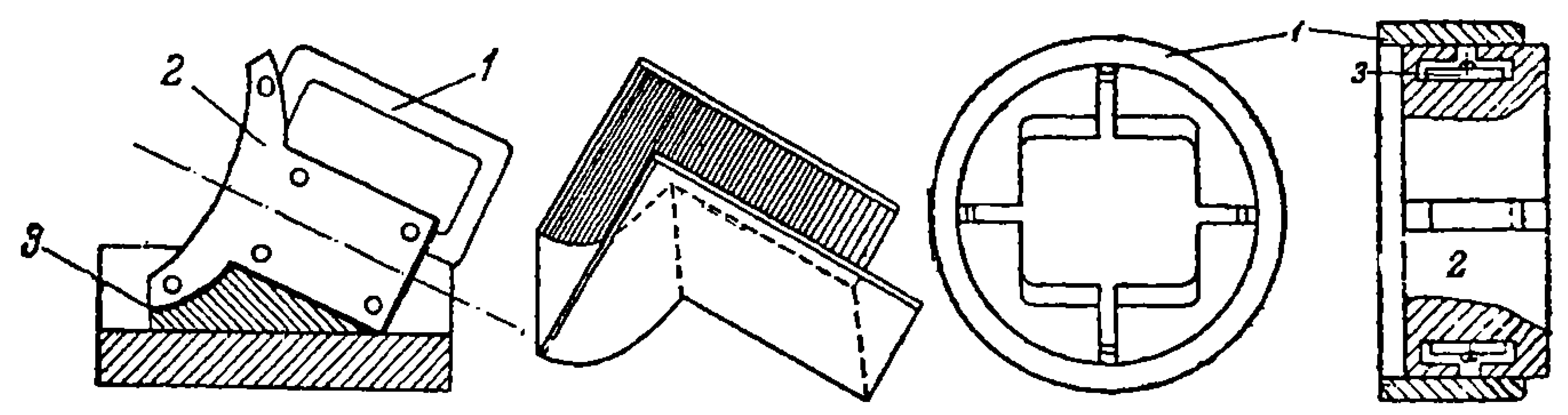


Рис. 317. Копир для формовки изоляции полюса.

Рис. 318. Заготовка изоляции полюса.

Рис. 319. Оправка для запрессовки изоляции полюса.

миканита располагают сверху. Миканит подогревается до момента закипания слоя шеллака.

Миканитовые заготовки укладываются на плиту, помещаемую в индукционную печь. Миканит применяется твердый формовочный. Полюса перед покрытием миканитом очищаются и промываются сначала в бензине, а потом в рафинированном спирте.

Формовка заготовки изоляции полюса производится посредством копира (рис. 317), сделанного из полюса, к которому прикреплена ручка *1*. Процесс формовки производится вручную, причем разогретые листы миканита укладываются на матрицу *3*, пуансоном *2* нажимают на разогретый лист миканита. Таким образом заготовляется половина заготовки изоляции полюса (рис. 318).

Две половины таких заготовок в последующих операциях складываются вместе на полюс и запекаются.

Полюс, обернутый миканитовыми половинками, вкладывается в предварительно нагретую в индукционной печи конусную разрезную

оправку 2 (рис. 319), охватываемую бандажом 3. Затем полюс запрессовывается винтовым прессом в конусное кольцо 1. Все приспособление вместе с полюсом разогревается до 170° С. Время нагрева 4 минуты. Кольцо 1 предварительно нагревается в электропечи перед вторичным нагревом в индукционной печи. Перед запрессовкой полюса смазываются тонким слоем шеллака, причем большие полюса предварительно разогреваются.

Оправка перед запечкой смазывается глицерином.

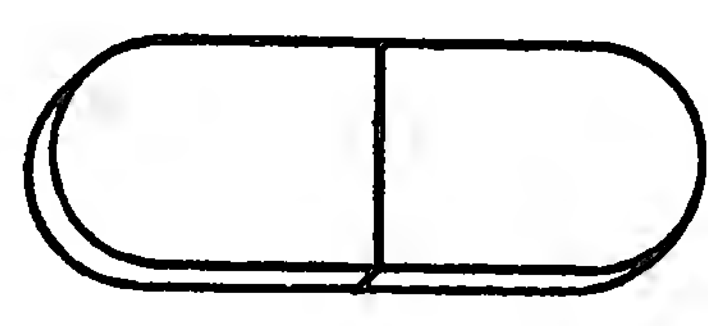
После выпечки производят охлаждение приспособления вместе с полюсом сжатым воздухом, а затем распрессовку. По краям миканит обрезают и прокрашивают полюса лаком № 462. Полюса, покрытые миканитом, дают высококачественную влагостойкую изоляцию.

5. ИЗГОТОВЛЕНИЕ РОТОРНОЙ ОБМОТКИ СИНХРОННЫХ МАШИН

А. Заготовка катушек

Намотка роторных катушек синхронных явнополюсных машин производится на специальном намоточном станке «Эрликон» из плоской голой меди. Конструкция станка позволяет производить намотку витков на ребро.

Перед началом обмотки медь, предназначенная для намотки катушек, надевается на вращающийся вертикальный барабан, а затем пропускается через зажимное приспособление и через кулачки цепи, которая и подводит медь к станку. Регулировкой зажимного приспособления создается необходимое натяжение меди, наматываемой на оправку при вращении станка.


Рис. 320. Оправка для намотки катушки.

Для лучшей теплоотдачи катушки наматываются с так называемыми «охлаждающими» витками, т. е. через 2, 3 или 4 нормальных витка делают один удлиненный виток, выступающий на 10—15 *мм* с каждой стороны торцов.

Для намотки катушек с охлаждающими витками применяются стальные оправки (рис. 320), две половины которой раздвигаются в стороны на определенную величину.

Для ускорения намотки небольшие катушки иногда наматывают одновременно двумя параллельными витками. После намотки витков такие катушки легко разъединяются. Намотанная на ребро медь принимает воронкообразный вид. Кроме того, медь делается жесткой (наклеп). Для уничтожения указанных недостатков намотанные витки проходят ряд операций. А именно: для уничтожения наклепа намотанные витки отжигаются в печах при температуре 400—500° С. После отжига катушки погружаются в водяную ванну с содержанием 25% денатурированного спирта для устранения окислов и окалины. Погружением в такую ванну медь не полностью очищается от окислов и окалины. Для полного устранения их витки погружаются в раствор кислот, откуда медь выходит совершенно чистой.

Отожженные и очищенные витки для уничтожения воронкообразности поступают на выравнивание под пресс. Под каждый виток в

закругленной его части подкладывается стальная закаленная пластинка; давлением пресса витки выравниваются. Выравненные таким образом витки катушек поступают на снятие неровностей, забоин и заусенцев, а затем на комплектовку.

Комплектовка катушек заключается в подборе требуемого количества витков. У катушек, имеющих охлаждающие витки, должно быть соблюдено правильное чередование охлаждающих витков с нормальными.

Припайка витков друг к другу производится серебряным припоем (сплав серебра с медью). Стыки припаиваемых мест при помощи сильного пламени паяльной лампы доводятся до температуры, достаточной для плавления серебряного припоя. По мере нагрева место пайки посыпается бурой, и на нагретое место подается небольшая пластинка серебряного припоя.

Контроль хорошей пайки — перегиб в месте спайки в разные стороны приблизительно под углом 90°. При плохом выполнении пайки запаянное место лопается в стыке. После комплектовки витков в катушках припаиваются выводные концы, причем выводные концы сначала приклепываются к первому и последнему виткам катушки и затем только пропаиваются оловом. После припайки концов катушки поступают на изолировку.

Б. Изолировка катушек

В настоящее время вследствие значительной плотности тока в обмотках возбуждения синхронных машин, а следовательно и нагревов, межвитковая изоляция из прессшпана и летероида почти не применяется. Межвитковая изоляция делается исключительно из асбеста. Изоляция класса А заменена классом В как лучшим по теплостойкости. Толщина асбестовой изоляции между каждым витком берется от 0,1 до 0,4 *мм*. Иногда после выпечки (см. далее) получается, что катушка имеет высоту менее требуемых размеров. В таком случае изоляцию утолщают, прокладывая между витками дополнительную прокладку.

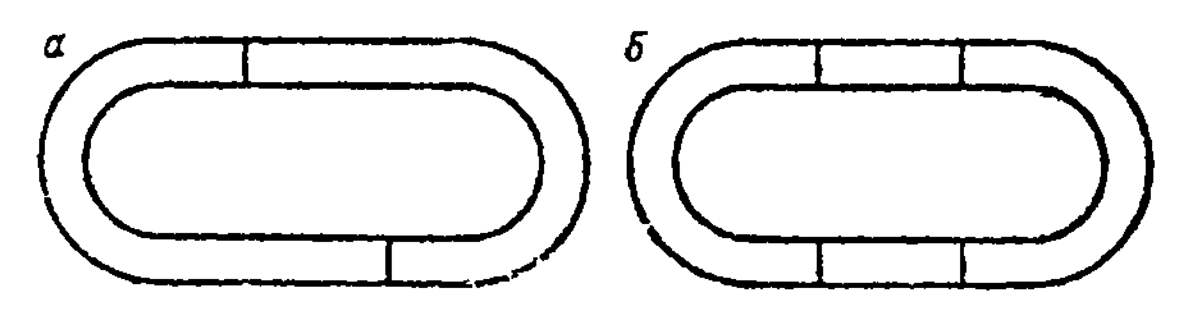


Рис. 321. Межвитковая изоляция.

Перед наложением изоляции между витками катушку надевают на деревянный шаблон и витки протирают сухой тряпкой. Размеры шаблона делают немного менее внутренних размеров катушки для более легкого снятия катушки после наложения витковой изоляции.

Изоляция для витков катушек доставляется изолировщицам в готовом виде, т. е. вырезанная по ширине витка, прошеллаченная и высушенная.

Витковая изоляция небольших катушек тихоходных машин выполняется из 2 слоев асбеста, толщиной 1—1,5 *мм*, и состоит из 2 частей. Стыки слоев изоляции смещаются.

На рис. 321, *а* и *б* показаны две изоляционные шайбы, соприкасающиеся между собой. На рисунке видно смещение стыков.

Благодаря готовой изоляции, которая вкладывается между витками с торцов катушек, надетых на шаблон, время изолировки сильно сократилось.

Большие катушки быстроходных машин подвешиваются к параллельным брусьям. Витки катушек протираются сухой тряпкой и далее промазываются шеллаком. Изоляция витков нарезается из асбеста. Для закругленных частей катушек она нарезается из четырехугольных кусков, для прямых частей — из полос. Полосы должны быть шире витка на 1—1,5 *мм* на каждую сторону. Как закругленные части («уголки»), так и полосы нарезаются двух сортов — одни короче, другие длиннее, для того чтобы при наложении изоляции второго слоя стыки «уголков» и полос были смещены относительно друг друга. Это мероприятие предохраняет от возможности получения виткового соединения между соседними витками.

После наложения витковой изоляции излишне выступающие части «уголков» срезают ножницами и после просушки шеллака (на воздухе) катушки связывают и отправляют на следующую операцию — выпечку.

В. Опрессовка и выпечка

Небольшие катушки, имеющие просушенную шеллачную изоляцию, укладывают в зажимное приспособление — прессформу, одновременно по 4—5 катушек по высоте. Под нижнюю и верхнюю катушки (рис. 322) подкладываются изоляционные шайбы *5*, а на них — массивные железные кольца *4*. В середину катушек вставляются деревянные бруски *3*, стальные клинья *1* и деревянные бруски *2*. Витки выправляются давлением клина *1*. На кольца *4* ставятся 4—6 железных брусков, на которые давят прессом и, производя выпечку, доводят размеры катушки до требуемых. Иногда катушки больших размеров опрессовываются и выпекаются следующим образом. Изолированную катушку укладывают в зажимное приспособление — прессформу (рис. 323) — для придания ей под нагревом надлежащих размеров как внутренних, так и наружных. Снизу и сверху катушки подкладывают специальные стальные доски *а* с несколькими вырезами, сделанными по внутренним размерам катушки. В каждый вырез доски вставляют два конусных стальных клина, которыми внутренние размеры катушки

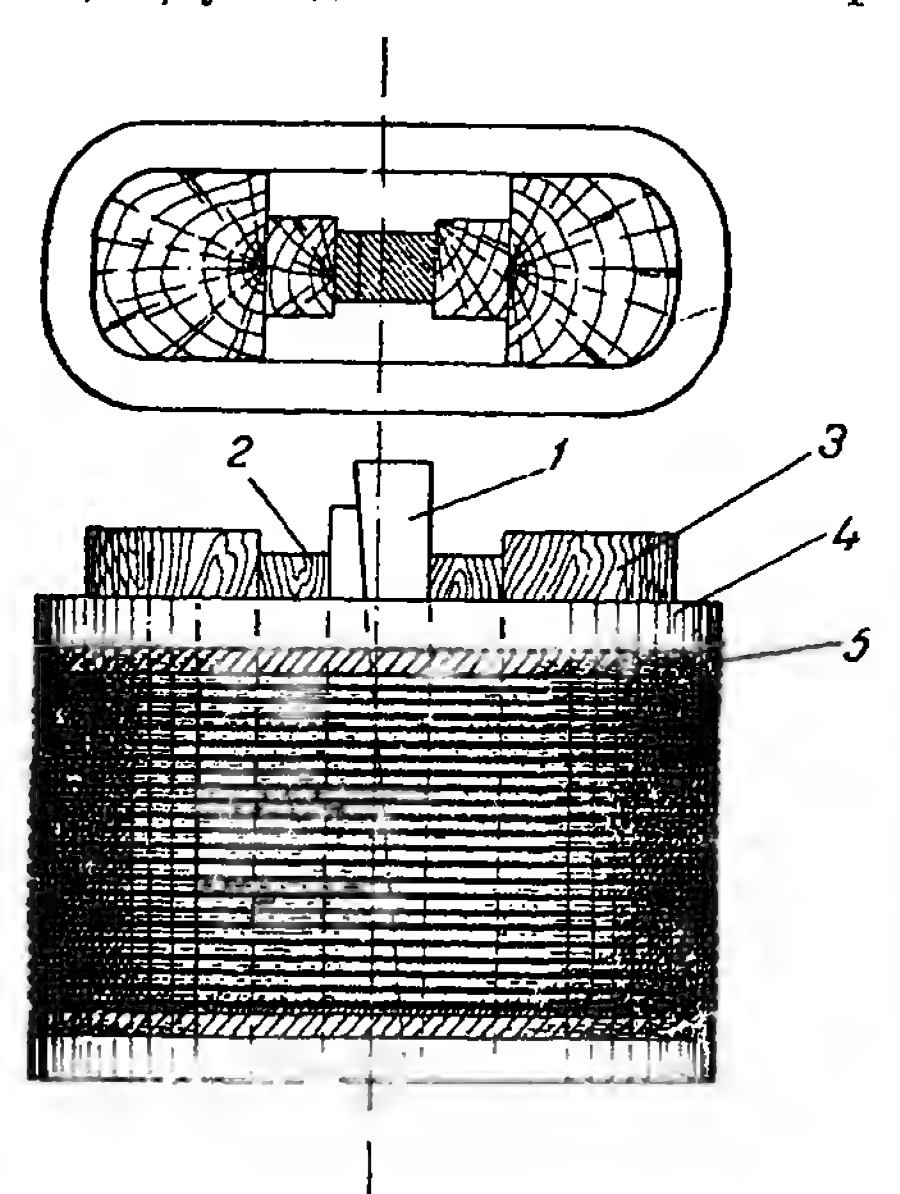


Рис. 322. Опрессовка катушки.

раздаются до определенных размеров как на прямой, так и на закругленной частях. С наружных сторон катушка сдавливается вертикальными планками *б* путем подвинчивания болтов. Прессформой поджимают катушку в прессе, в горячем состоянии, со всех сторон, до получения требуемых размеров.

Катушкам, находящимся в прессформе, дают небольшое давление, которое в процессе выпечки постепенно увеличивают, доводя до такой величины, при которой опрессованные катушки дают по высоте надлежащий размер.

Нагрев катушек для выпечки шеллака производится от генератора постоянного тока, напряжением 12 V. Время выпечки катушек, имеющих просушенную витковую изоляцию, различно, от 20—40 мин. до прекращения выделения растворителя шеллака.

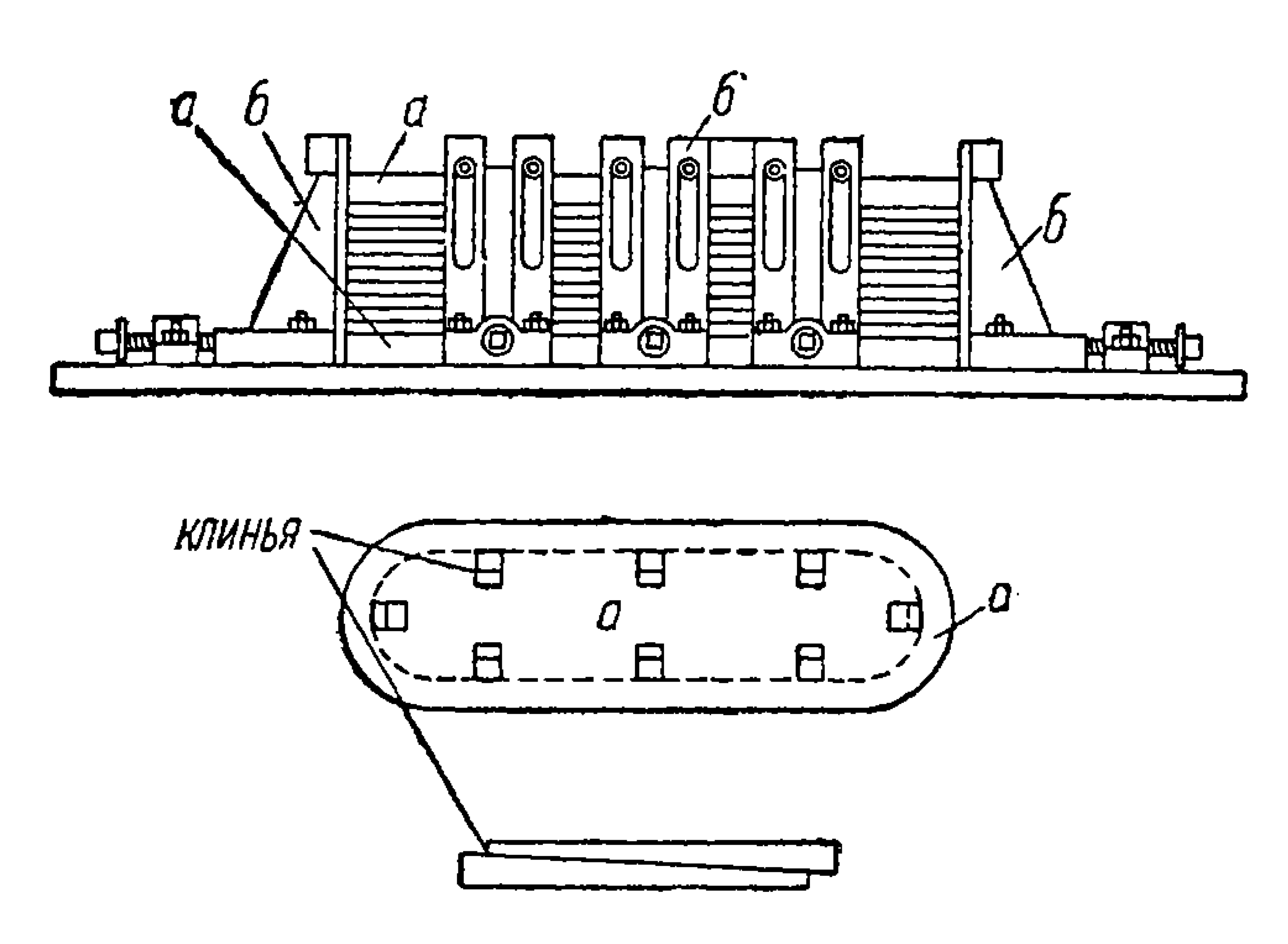


Рис. 323. Прессформа.

Большие катушки, имеющие непросушенную асбестовую изоляцию, опрессовываются и выпекаются по одной. Время выпечки приблизительно 50 мин., в течение которых катушка нагревается постепенно до 160° С. После выпечки катушке дают остыть, после чего ставят вторично под пресс, а затем проводят вторую выпечку. Излишек шеллака выдавливается, и растворитель шеллака — спирт — испаряется. С каждым таким нагревом шеллак все более повышает температуру своего плавления, для чего, в сущности, и применяется ряд горячих прессовок.

После окончательной выпечки и охлаждения катушку вынимают из прессформы. Как наружную, так и внутреннюю поверхности катушек очищают от выступающей межвитковой изоляции при помощи специальных полукруглых скребков, причем изоляция срезается до меди. Наплывы шеллака и выступающую межвитковую изоляцию счищают для того, чтобы тепло при работе машины могло свободно выделяться из меди.

Г. Изолировка полюсов и посадка катушек на полюсы

После зачистки запеченных катушек от выступающей изоляции катушки насаживаются на изолированные железные сердечники полюсов. Изолировка сердечников, как и витковая изоляция, выполняется из изоляционных материалов класса В.

Перед изолировкой сердечника заусенцы должны быть спилены и сердечник протерт сухой тряпкой, после этого он промазывается шеллаком.

Отрезается кусок батиста, шириной 30—40 *см* и длиной, равной окружности сердечника. Вокруг края сердечника, обращенного к ротору, наклеивается часть куска батиста, шириной 15—20 *мм*; оставшаяся ширина его покроет впоследствии сверху наложенные слои изоляции. Первые слои изоляции наносятся из асбеста, предварительно пропитанного асфальтовым лаком.

После асбеста наносятся слои гибкого миканита. Высота накладываемых полос асбеста и миканита равна высоте сердечника полюса. Каждый накладываемый слой изоляции проутюживается горячим утюгом и протирается сухой тряпкой для лучшего приклеивания слоев. После наложения требуемого количества слоев изоляции оставшаяся часть батиста накладывается на последний слой миканита и также проутюживается. На изолированный сердечник надевается гэтинаксовая изоляционная шайба, соприкасающаяся с башмаком полюса. Далее надевается катушка и сверх нее — опять гэтинаксовая шайба.

Собранный полюс подвергается испытанию под давлением. Полюс с насаженной катушкой ставят под пресс башмаком книзу. На гэтинаксовую шайбу накладывают железное кольцо, поверх которого ставят в 5—6 местах стальные квадратные бруски одинаковой высоты. Нажимом пресса на поставленные бруски катушке дается соответствующее давление. Это давление зависит от числа оборотов ротора, его диаметра и веса катушки и равно тому давлению, которое испытывают витки катушки от центробежной силы при числе оборотов, превышающем нормальное, но допустимом по существующим нормам. Под этим же давлением в прессе катушки испытывают на витковое в течение 5 мин., а также и на корпус. При испытании на витковое дается повышенное напряжение на катушку, равное 10-кратному нормальному напряжению, приходящемуся на нее.

После испытания катушек на корпус и витковое полюс с насаженной катушкой считается готовым и поступает в сборку.

ГЛАВА XI

УКЛАДКА В ПАЗЫ ОБМОТОК ЯКОРЕЙ И РОТОРОВ

1. РУЧНЫЕ ОБМОТКИ ЯКОРЕЙ МЕЛКИХ МАШИН

Обмотка якорей, выполняемая вручную, применяется для мелких электродвигателей. Якори крупных и средних машин имеют обычно шаблонную обмотку.

Достоинства ручной обмотки мелких якорей следующие:

1) минимальные размеры вылетов лобовых частей обмотки, что дает значительную экономию обмоточного провода (для двухполюсных машин);

2) намотка ведется одним концом, что представляет известные удобства при работе и не дает отходов.

А. Подготовка якоря к обмотке

Подготовка якоря к обмотке заключается в осмотре исправности пазов и изолировке якоря.

Изолировка якоря сводится к трем основным процессам: 1) изоляция лобовых частей железа якоря, 2) изоляция пазов и 3) изоляция вала..

Изоляция пазов и вала выполняется так же, как и для рассыпной обмотки, поэтому здесь не приводится. Для защиты лобовых частей обмотки их закрепляют при помощи куска батиста, разрезанного так, как показано на рис. 324.

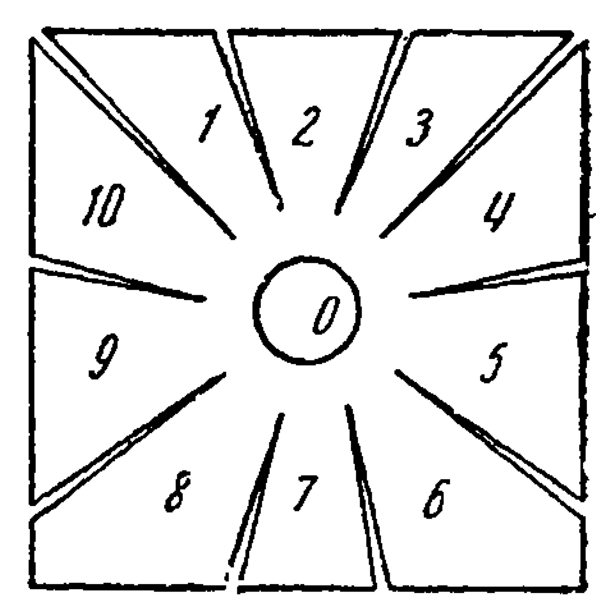


Рис. 324. Схема разреза куска батиста.

Батист надевают на вал, обертывают вокруг него и закрепляют шнуром. По окончании намотки якоря на лобовые части обмотки загибают батист, причем концы его (*1*, *2*, *3* и т. д.) укладываются в пазы и подсовываются под клинья, которыми укреплена обмотка.

Б. Намотка якоря

После изолировки пазов и вала приступают к намотке якоря.

При ручной намотке малых якорей их держат в одной руке, а другой ведут намотку по часовой стрелке. Катушка с проводником устанавливается возле обмотчика на деревянной подставке, на которой она может вращаться.

По мере заполнения пазов проводником необходимо обмотку в пазу осаживать фибровым клином. Чтобы при этой осадке не повредить обмотки, фибровый клин натирают парафином.

Намотку следует вести с натяжением и избегать перекрещивающихся витков как в пазах, так и в лобовой части. Плохое натяжение проводника и большое количество перекрещивающихся витков приводят к тому, что обмотка занимает слишком много места.

При намотке необходимо следить за целостью изоляции проводника, а также за тем, чтобы вложенная в пазы изоляция не сдвинулась с места и не завернулась внутрь паза. Впоследствии, при испытании на корпус, это может вызвать пробой.

Для изолировки верхних секций от нижних в пазы помещают прессшпановые прокладки, толщиной от 0,1 до 0,15 *мм*.

Рассмотрим, для примера, намотку якоря двухполюсной машины, имеющей следующие электрические данные:

1) обмотка петлевая,
2) число пазов 10,
3) число сторон секций в пазу 6,
4) число секций в якоре 30,
5) число витков в секции 37,
6) шаг по железу 4 (из 1-го в 5-й),
7) шаг по коллектору 1 (из 1-го во 2-й),
8) число коллекторных пластин 30,
9) число проводников в пазу (6 · 37) = 222.

Согласно приведенным выше данным, в пазу имеется 6 секций, которые можно разделить на 3 верхних и 3 нижних секции.

Приступая к обмотке, начальный конец проволоки оставляют удлиненным и закрепляют на валу. Обмотка ведется одним проводом следующим порядком:

из	1-го	паза	мотаем	в	5-й паз	3	секции
»	2-го	»	»		6-й »	3	»
»	3-го	»	»		7-й »	3	»
»	4-го	»	»		8-й »	3	»
»	5-го	»	»		9-й »	3	»

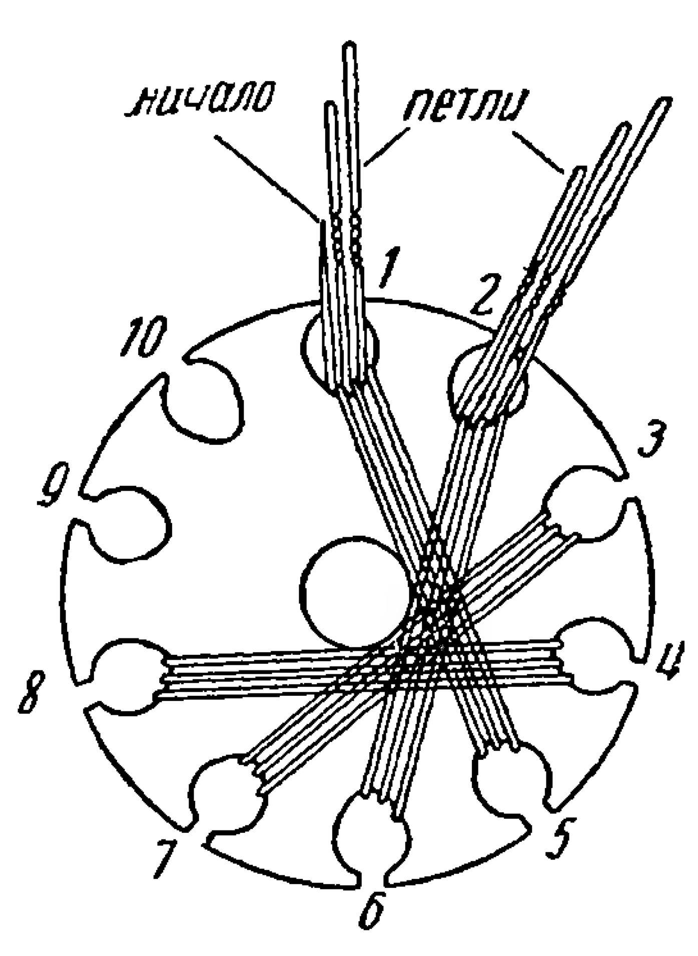


Рис. 325. Вид петель.

Намотав из 1-го в 5-й паз одну секцию, состоящую из 37 витков, следует выпустить первую петлю, длиной, примерно, 40 *мм*. Затем наматываются вторая секция с выпуском петли длиннее первой на 20—30 *мм* и третья секция с петлей длиннее второй на 20—30 *мм*. Вид выпущенных петель показан на рис. 325. Таким же порядком наматываются 12 следующих секций. 13-ю, 14-ю и 15-ю секции приходится наматывать из 5-го паза, где уже лежат 3 нижних секции.

В 5-й паз на нижние стороны секций кладется прессшпановая прокладка, чтобы отделить верхние стороны секций во избежание витковых соединений.

После намотки 13-й, 14-й и 15-й секций 5-й паз целиком заполнен, а 10-й паз совершенно свободен, остальные же пазы заполнены наполовину.

Далее намотка ведется таким порядком:

из	паза	6-го	в паз	10-й	3	секции
»	»	7-го	»	1-й	3	»
»	»	8-го	»	2-й	3	»
»	»	9-го	»	3-й	3	»
»	»	10-го	»	4-й	3	»

После намотки 30 секций конец провода обрезается и свертывается вместе с начальным выпущенным концом 1-й секции. Все выпущенные петли являются по существу началом одной секции и концом другой. Далее петли очищают от изоляции, надевают на них трубочки из ла-

коткани и вкладывают их в соответствующие шлицы коллекторных пластин.

Прессшпановые проходные коробки обрезают по высоте паза и с помощью фибрового клина осаживают обмотку, затем коробочки загибают вперекрой. Поверх загнутых коробок для укрепления обмотки в пазы забивают фибровые или летероидные клинья при помощи деревянного ручника. На лобовую часть задней стороны якоря, так же как для рассыпной обмотки, надевают чехол из батиста и укрепляют путем подсовывания его под забиваемые клинья по окружности якоря.

В некоторых типах якорей считают удобным насадку коллектора производить после обмотки якоря. Коллектор до насадки на вал подвергается электрическому испытанию на корпус и на соединения между пластинами.

В. Соединение концов обмотки с коллектором и их пайка

Для удобства закладки концов обмотки якоря в шлицы коллекторных пластин якорь устанавливается на деревянную подставку. Промежуток между лобовой частью обмотки и коллектором заполняется тафтяной или киперной лентой с таким расчетом, чтобы высота переходов концов не получилась выше коллектора. Лента берется такой длины, чтобы, обернув ее вокруг вала необходимым количеством оборотов, получить конец ленты, достаточный для закрепления сверху концов обмотки.

Перед вкладкой концов обмотки в шлицы следует расправить все петли так, чтобы они правильно чередовались в том порядке, как производилась намотка секций и выпуск их петель.

Приступая к соединению концов обмотки с коллектором, следует знать данные обмотки. Нам известно, что шаг по железу равен 4, т. е. из 1-го в 5-й паз. Обмотка петлевая, шаг по коллектору 1—2. Изобразим схематически часть железа якоря с вложенной обмоткой и коллектором. Такая схема дана на рис. 326, где отмечены также номера пазов и пластин коллектора.

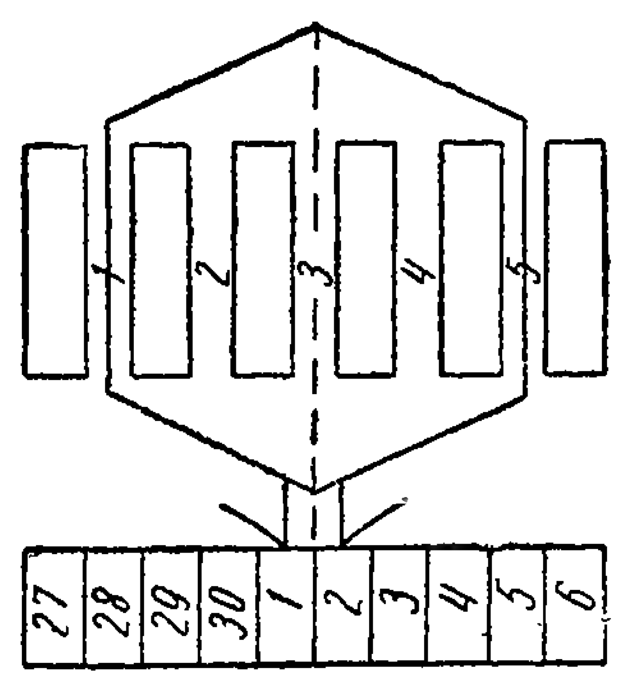


Рис. 326. Схема соединения концов обмотки.

Первая коллекторная пластина берется следующим образом. Проводим прямую линию посередине первой вложенной секции (эта линия проходит через паз *3*) до пересечения с коллектором. Пересекаемая этой линией коллекторная пластина и будет первой. В эту пластину и должны быть вложены конец 30-й и начало 1-й секции. Во 2-ю пластину вкладывается соответственно конец 1-й и начало 2-й секций (петля между 1-й и 2-й секциями) и т. д.

Концы обмотки вкладывают в шлицы коллектора при помощи фибрового клина или тонкой деревянной лопаточки. На вложенные концы надевается резиновое кольцо, чтобы удержать их от выпадения.

При закладывании в шлицы каждый конец у коллектора змеевидно переплетается хлопчатобумажной лентой.

Поверх переплетенных концов делается один оборот той же лентой.

Поверх ленты ставится бандаж из английского шнура, толщиной 0,5—1 *мм*.

Шнур для бандажа отрезается такой длины, чтобы можно было сделать требуемое число оборотов.

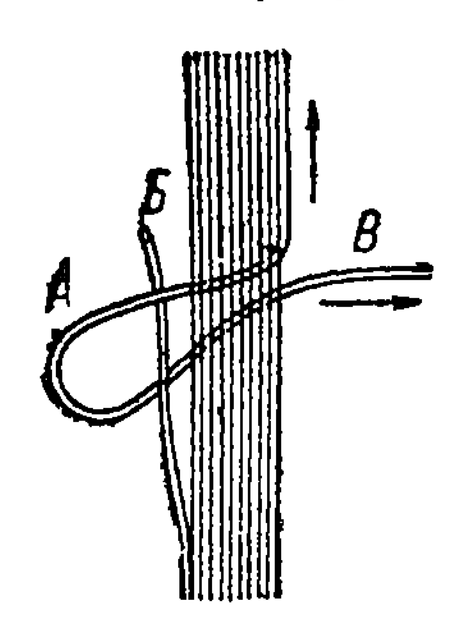


Рис. 327. Схема наложения бандажа.

Шнур накладывается сначала петлей *А* (рис. 327), на которую затем наматывается бандаж из того же шнура.

Начиная намотку, бандаж удерживают пальцем, пока не наложат 2—3 оборота шнура в направлении, указанном стрелкой. После этого наматывается требуемое количество оборотов шнура.

Конец *Б* шнура пропускается в петлю *А* и концом *В* подтягивается под наложенный бандаж. Затянув петли, концы *Б* и *В* отрезают и весь бандаж для лучшего скрепления покрывают шеллачным или быстросохнущим лаком.

Наложив бандаж, якорь передают на запайку концов обмотки в шлицах.

2. УКЛАДКА ЯКОРНЫХ ШАБЛОННЫХ ОБМОТОК

А. Подготовка якоря к обмотке

Предназначенный к обмотке якорь укладывается на две стелюги (подставки) таким образом, чтобы вал концами опирался на них. При таком положении якоря удобно производить все обмоточные операции, так как он легко поворачивается.

Уложив вкладыш на стелюги, производят подготовительные работы для вкладки секций в пазы якоря

Подготовительные работы состоят в проверке железа якоря и коллектора.

Железо якоря тщательно очищается при помощи металлической щетки или продувается струей сжатого воздуха от разных посторонних тел, которые могут остаться на нем при механической обработке, пропиловке и рихтовке в железосборочном цеху или при транспортировке из механических цехов в обмоточные.

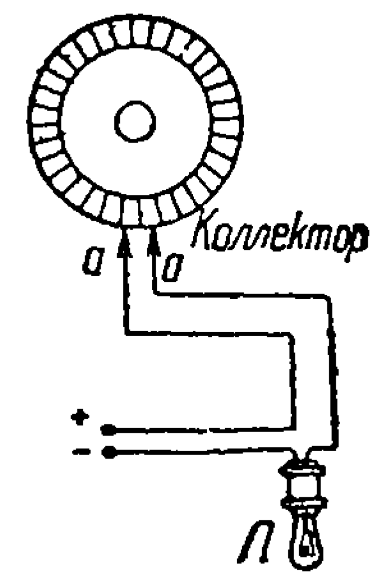


Рис. 328. Схема испытания на соединение между пластинами.

Якорь внимательно осматривают, чтоб определить, нет ли в пазах острых краев железа, кромок, заусенцев и т. д., так как наличие их опасно для обмотки: изоляция ее может быть повреждена при вкладке.

Обнаружив указанные дефекты, их тут же устраняют. Затем пазы якоря окрашивают при помощи кисти или пульверизатора быстросохнущим лаком.

После проверки железа приступают к проверке коллектора.

Для уверенности в отсутствии повреждений коллектор до вкладки секций в пазы подвергают электрическому испытанию. Испытание состоит в проверке отсутствия соединений между пластинами и в определении состояния изоляции между пластинами и корпусом.

Первое испытание производится переменным или постоянным током, напряжением 110—220 V. Схема испытания представлена на рис. 328. Концами *а*, *а* касаются двух лежащих рядом пластин, причем контрольная лампочка *Л* не должна загораться. Загорание лампочки будет указывать на соединение между проверяемыми пластинами. Обычно место соединения легко отыскивается, и повреждение устраняется.

Испытание на корпус производится от специального испытательного трансформатора, дающего возможность получить любое высокое напряжение, необходимое для испытания. Величина испытательного напряжения берется в зависимости от рабочего напряжения якоря. Схема испытания и нормы для испытания приведены ниже (см. «Испытание обмоток якоря»).

После осмотра якоря, окраски его пазов и испытания коллектора производится изолировка обмоткодержателей якоря.

Б. Изолировка обмоткодержателей

Обмоткодержатели в якорях предназначены для опоры лобовых частей обмотки. Изолировать обмоткодержатель — значит отделить его от тех мест обмотки, которые могли бы с ним соприкасаться.

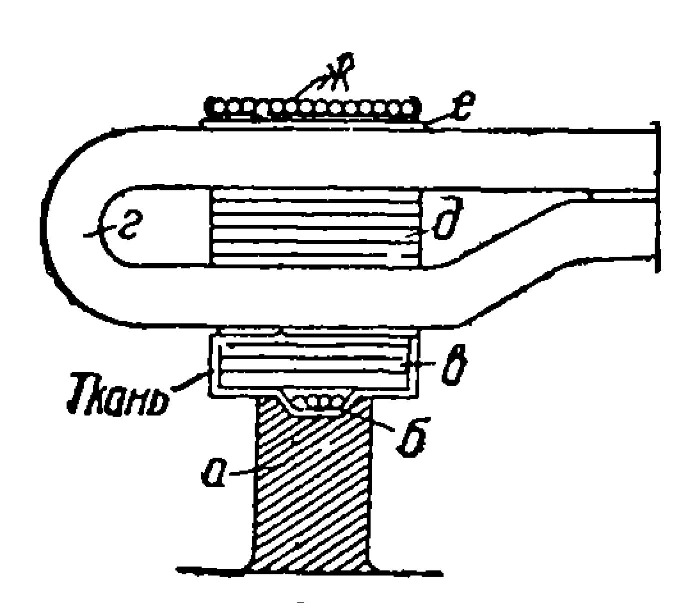


Рис. 329. Обмоткодержатель задней стороны:

а — обмоткодержатель; *б* — шнур; *в* и *д* — прессшпан в несколько слоев; *г* — лобовая часть секции; *е* — прессшпан под бандажом: *ж* — бандаж.

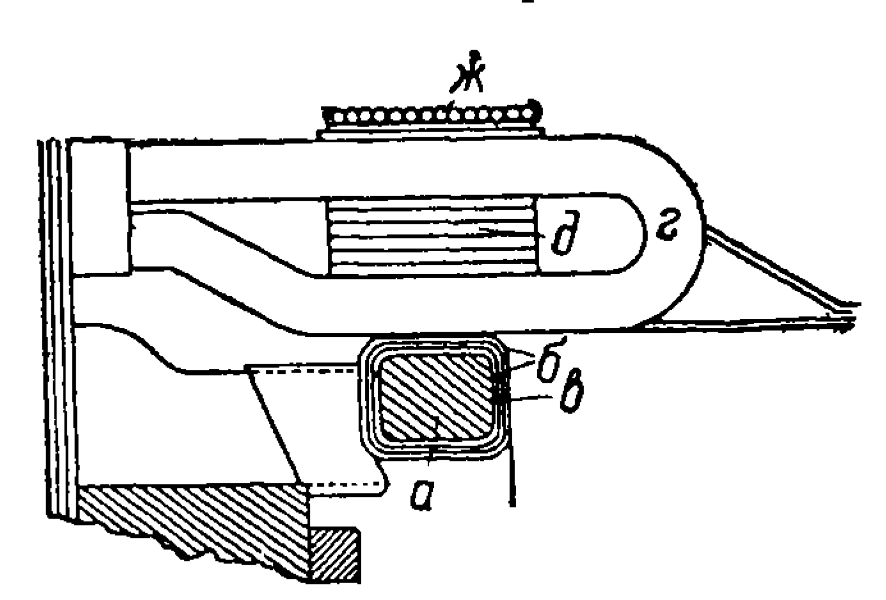


Рис. 330. Обмоткодержатель передней стороны:

а — обмоткодержатель; *б* — киперная лента; *в* — лакоткань; *г* — лобовая часть обмотки; *д* — прессшпан в несколько слоев; *ж* — бандаж.

Изоляционные материалы, применяемые для изолировки обмоткодержателей, различны. В зависимости от условий среды, в которой будет работать машина, применяется тот или другой сорт изоляционных материалов.

После намотки якоря поверх лобовых частей обмотки накладывается бандаж. Стянутая бандажом лобовая часть обмотки плотно прижимается к изолированному обмоткодержателю.

Конструктивное выполнение обмоткодержателей различно. Большинство якорей имеет одинаковую форму обмоткодержателей как с задней, так и с передней стороны. Встречаются якори, имеющие различные формы обмоткодержателей на обеих сторонах.

Это различие видно из сравнения рис. 329 и 330.

Изолировка каждого обмоткодержателя различна.

Наружная поверхность обмоткодержателя задней стороны якоря (обод) окрашивается спиртовым шеллачным лаком, после чего на нее по всей окружности накладывается полоса хлопчатобумажной ткани, шириной немного более тройной ширины обмоткодержателя.

Эта ткань накладывается так, чтобы с обеих сторон обмоткодержателя свисала одинаковой ширины полоса ткани. Полоса эта укрепляется шпагатом (шнуром), который затягивается посередине в выточке б обмоткодержателя, как это видно на рис. 329. Часть ткани, лежащая на ободе, промазывается шеллаком.

Поверх шпагата и ткани накладываются заранее заготовленные полосы картона, шириной больше ширины обмоткодержателя приблизительно на 10—15 *мм*; толщина картона берется от 1 до 2 *мм*. Первый наложенный ряд картона промазывается шеллаком, на него накладывается вторая полоса картона и т. д.

Общая высота всей наложенной изоляции (картона или прессшпана) рассчитывается так, чтобы после укладки всех секций в пазы якоря и наложения бандажа диаметр лобовой части якоря не выходил за пределы диаметра железа якоря. Для этого необходимо произвести предварительный подсчет общей высоты, состоящей из толщины изоляции обмоткодержателя, высоты лобовой части обмотки, толщины изоляции под бандаж и толщины всех слоев проволоки бандажа.

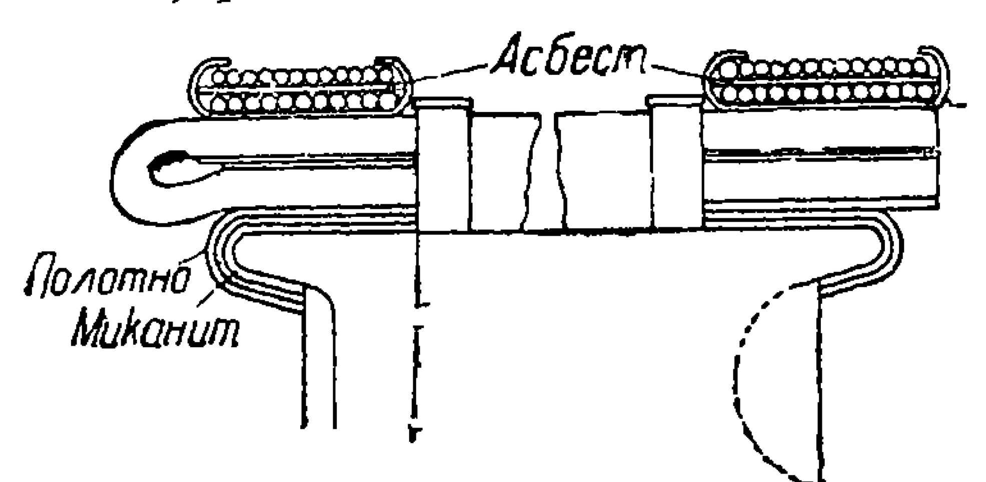


Рис. 331. Обмоткодержатель, изолированный миканитом и полотном.

Наложенный картон промазывается сверху и с боков шеллаком, после чего ткань, предварительно подрезанная по ширине в 6—8 местах с обеих сторон для лучшей укладки на обмоткодержатель, загибается на картон и тщательно выравнивается, чтобы на ней по всей окружности не было пузырей и крупных морщин. Этим заканчивается изолировка обмоткодержателя задней стороны.

Обмоткодержатель передней стороны якоря представляет собой кольцо, укрепленное на ребрах (рис. 330). Для изолировки такого обмоткодержателя кольцо по всей окружности смазывается лаком и обертывается 4—5 слоями киперной или миткалевой ленты, толщиной 0,25—0,30 *мм*. Поверх киперной ленты наматывается лакотканевая лента, толщиной 0,20—0,30 *мм*, в один слой в полнахлестки. Общая толщина изоляции подбирается из того же расчета, что и для обмоткодержателя задней стороны якоря.

Некоторые обмоткодержатели целиком прилегают одной стороной к железу якоря. Обмоткодержатели у этого типа якоря, как видно из рис. 331, имеют одинаковую конструкцию как с задней, так и с передней стороны. Наружные края обода обмоткодержателя закруглены.

Вследствие одинаковой конструкции изолировка обоих обмоткодержателей одинакова.

В. Укладка обмотки

Шаблонная обмотка состоит из изолированного шаблона, пазовая часть которого опрессована микафолием в горячем состоянии. Шаблон имеет несколько самостоятельных секций. Перед вкладкой шаблона в пазы якоря вставляют изоляционные коробочки из прессшпана или летероида. Назначение этих коробочек — предохранять изоляцию пазовой части шаблона от механических повреждений во время вкладки и осадки шаблона. Длина коробочек должна быть равна длине пазовой изоляции шаблона. Вложенная в паз коробочка должна выходить поверх паза на 20—25 *мм* с каждой стороны для удобства вкладки шаблона (рис. 330).

Толщина и высота коробочек подбираются обмотчиком в зависимости от размеров паза и опрессовки пазовой изоляции шаблона. Например, если ширина паза 9 *мм* и высота 23,5 *мм*, а ширина шаблона 8 *мм* и высота 11 *мм*, т. е. высота двух шаблонов, лежащих в пазу, будет равна 22 *мм*. то изоляционную коробочку надлежит поставить: толщи-

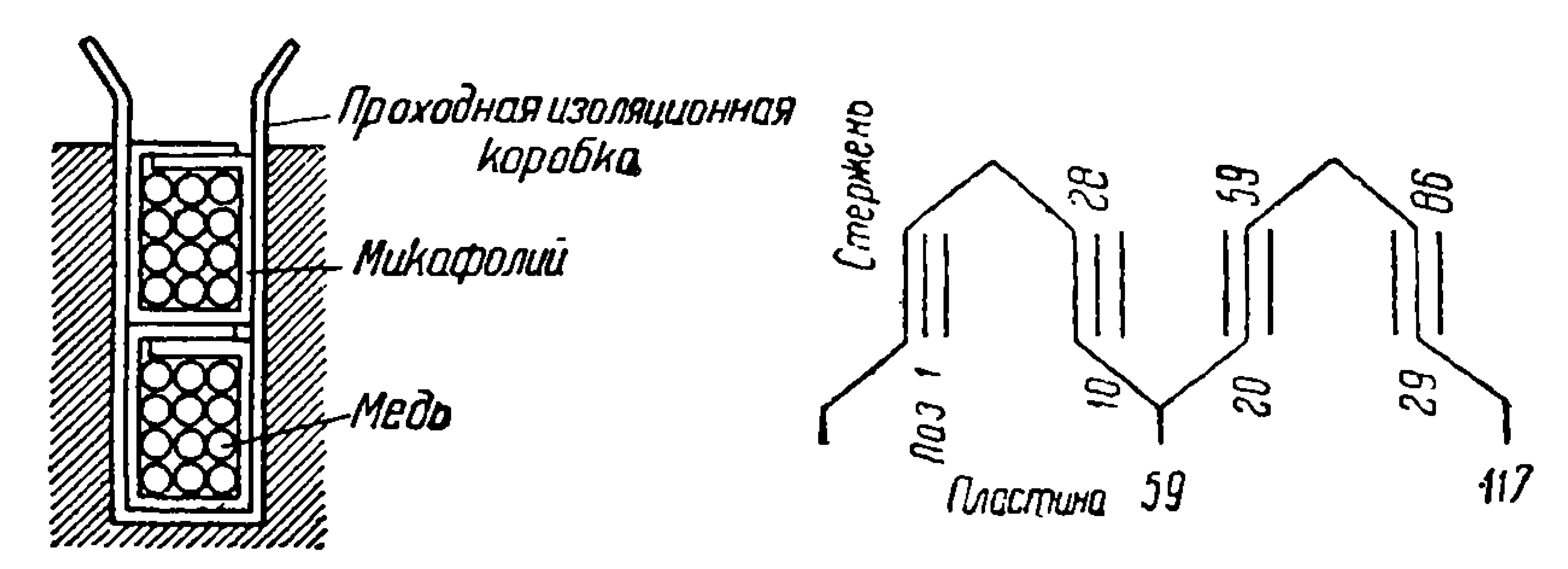


Рис. 332. Разрез паза с коробочкой. Рис. 333. Схема обмотки.

ной 0,4 *мм* и высотой 43—45 *мм*—для загиба внерекрой концов коробочки. Лишняя высота коробочки после вкладки обмотки обрезается. При этом получится, что пазовая часть шаблона вместе с изоляционной коробочкой имеет в ширину 8,8 *мм*.

Остающееся место по высоте паза после закладки в него всех шаблонов и загиба концов коробочек заполняется прокладкой из прессшпана. Для увеличения прочности изоляционных коробочек вместо одной коробочки, толщиной 0,4 *мм*, лучше поставить две по 0,2 *мм*.

Прежде чем приступить к вкладке шаблона в пазы, необходимо знать по схеме обмотки шаг по железу (зубцовый шаг) и шаг по коллектору.

В качестве примера рассмотрим вкладку обмотки, схема которой дана на рис. 333.

В каждом шаблоне здесь имеется по три секции. Зубцовый шаг для этой обмотки равен 9, а шаг по коллектору равен 58. Из данной схемы видно, что одна сторона шаблона лежит в 1-м пазу, а вторая — в 10-м. Для отметки шага на железе якоря на двух зубцах справа и слева от 1-го и 10-го пазов делают условные отметки зубилом или кернером или набивают номера.

Шаг по коллектору отмечается таким образом: находят коллекторную пластину, в данном случае лежащую против 6-го зубца железа (середина зубцового шага или середина шаблона или секции), и от нее отсчитывают влево 29 коллекторных пластин; найденная пластина будет первой. От первой пластины, считая ее, отсчитывают вправо по часовой стрелке до 59-й пластины. Эти две найденные пластины (1-ю и 59-ю) отмечают кернером или набивают на них номера на торцовой стороне.

Вкладка шаблонов производится следующим образом: берут шаблон и его нижней стороной вкладывают в отмеченный 10-й паз (в который уже заранее вложена изоляционная и проходная коробочки). Затем легким постукиванием ручника по деревянному или фибровому клину, входящему в паз, нижнюю сторону шаблона осаживают на

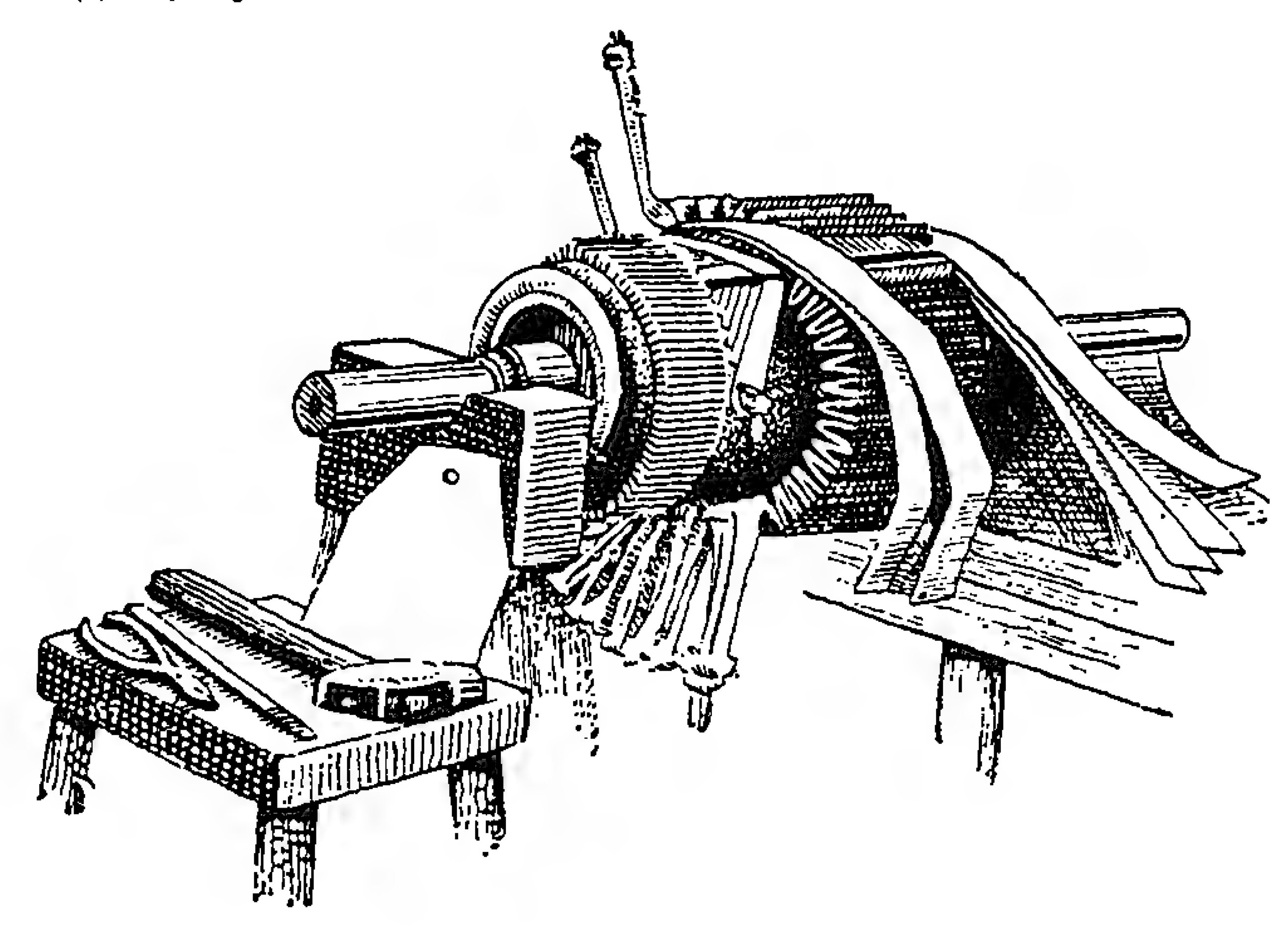


Рис. 334. Якорь в начале обмотки.

дно паза. При ударах по клину необходимо передвигать его вдоль пазовой части шаблона, следя за тем, чтобы шаблон входил равномерно и без перекосов.

При вкладке шаблона надо следить, чтобы он ложился в паз правильно, т. е. чтобы концы его, обращенные в сторону коллектора, были одинаковы; расстояния от края якорного железа до перехода пазовой (прямой) части в лобовую были также одинаковы с обеих сторон. Верхняя сторона шаблона временно остается невложенной в 1-й паз. Таким же способом вкладывают нижние стороны восьми других шаблонов, т. е. заполняют пазы, лежащие на протяжении зубцового шага. Верхние стороны этих девяти шаблонов остаются невложенными до окончания укладки всех остальных шаблонов.

Одновременно с вкладкой шаблонов в лобовых частях их между верхней и нижней сторонами секций прокладывается изоляция, состоящая из полос прессшпана в несколько слоев определенной толщины (на 2—4 *мм* меньше двойного радиуса головки), скрепленных хлопчатобумажной лентой вразбег. Полосы прессшпана рассчитываются так, чтобы после вкладки всех шаблонов его концы совпали

встык, причем стыки каждого последующего слоя сдвигаются по отношению к предыдущему. Эта изоляция видна на рис. 334 и служит для предохранения от соединения между верхними и нижними сторонами шаблонов в лобовых частях.

Затем якорь поворачивают и в 19-й паз закладывают низ 9-го шаблона. Шаблон предварительно продевается лобовыми частями под описанную выше междуслойную изоляцию как с передней, так и с задней стороны якоря. Верхняя сторона этого шаблона попадает в 10-й паз, где уже лежит нижняя сторона 1-го шаблона. Таким образом 10-й шаблон укладывается в пазы своими обеими сторонами.

Подобным образом полностью закладываются все остальные шаблоны, после чего поднятые верхние стороны девяти первых шаблонов закладываются в соответствующие пазы, в которых к тому моменту лежат нижние стороны других (последних) шаблонов. Во время вкладки необходимо следить за правильностью положения шаблонов относительно железа якоря и выравнивать шаблоны ударами ручника по фибровому клину.

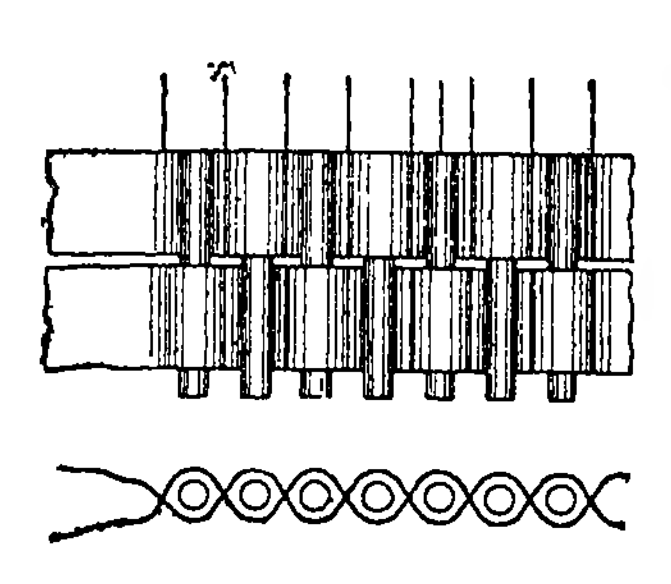


Рис. 335. Изолировка концов у коллектора.

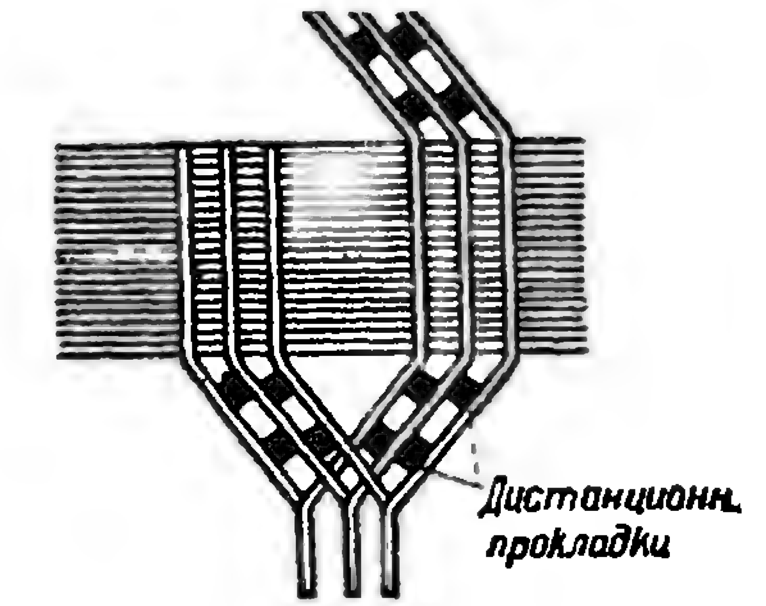


Рис. 336. Расположение дистанционных прокладок.

После вкладки всех шаблонов приступают к соединению концов секций шаблона с коллекторными пластинами.

Чтобы удобнее вкладывать концы обмотки в шлицы коллекторных пластин, загибают все верхние концы секций кверху. Перед вкладкой концов необходимо проверить правильность их вывода из пазов, т. е. нет ли перепутанности так называемых крестов. Эту проверку производят по схеме рис. 257. Концами от лампы касаются начала и конца каждой секции, причем контрольная лампа должна гореть. Начало и конец первой секции отмечаются путем закусывания острогубцами.

Убедившись в правильности выведенных концов всех секций, вкладывают отмеченный конец нижней стороны первой секции, лежащей в 10-м пазу, в шлиц 59-й пластины коллектора. Конец нижней стороны второй секции этого шаблона вкладывают в 60-й шлиц коллекторной пластины; конец нижней стороны 3-й секции этого же шаблона вкладывают в шлиц 61-й коллекторной пластины, идя по коллектору по направлению часовой стрелки. Концы секций забивают в шлиц, легко постукивая по ним ручником. После закладки всех нижних концов в соответствующие коллекторные пластины на них по изолированной части наматывается бандаж из киперной ленты в несколько рядов по всей окружности.

Затем в шлицы вкладываются концы верхних сторон секций: конец верхней стороны 1-й секции вставляется в шлиц первой помеченной коллекторной пластины; концы верхних сторон других двух секций этого шаблона вставляются соответственно во 2-ю и 3-ю пластины, идя по коллектору по направлению часовой стрелки. Таким же образом укладываются концы всех остальных верхних секций в соответствующие шлицы коллекторных пластин.

Во время укладки верхние концы секций около коллекторных пластин необходимо переплести змеевидно хлопчатобумажной лентой. Это делается так: отрезается лента, длиной равная приблизительно полуторной длине окружности коллектора, и концом ее завязывается вложенный верхний конец первой секции; на ленту сверху кладется верхний конец второй секции, далее лента идет поверх верхнего конца третьей секции и т. д. Выходной конец ленты скрепляется с ее началом. Назначение такого переплетения верхних концов — предохранить рядом лежащие концы от соединения между собой. Вид переплетения показан на рис. 335.

Заложенные в пазы шаблоны снова осаживаются ударами ручника по фибровому клину. Свободное по высоте место в пазу заполняется полосками прессшпана, длина и ширина которых должны соответствовать размеру паза. Коробочки отрезаются по высоте с таким расчетом, чтобы стороны их могли перекрыть одна другую. Со стороны, противоположной коллектору, лобовые части шаблонов оправляются, рихтуются и между отдельными сторонами шаблонов ставятся дистанционные прокладки из прессшпана (рис. 336). По окончании этих операций якорь подается на испытание на корпус и правильность соединения, а после проверки поступает на запайку концов, вложенных в шлицы коллекторных пластин.

3. УКЛАДКА РАССЫПНОЙ ОБМОТКИ (МЕЛКИХ МАШИН)

Перед укладкой рассыпной обмотки необходимо изолировать: 1) лобовую часть железа якоря, 2) пазы и 3) вал.

Для изоляции лобовой части применяются фибровые или летероидные диски. Эти диски обычно вырубаются тем же штампом, что и железо якоря.

Фибровые диски ставятся по краям (торцам) активного железа якоря с двух сторон и закрепляются вместе с железом на валу при помощи упорных железных шайб. Назначение дисков — предохранить изоляцию проводника от разрыва и порчи об острые края зубцов железа. Вид якоря с установленными изолирующими дисками был показан ранее на рис. 177.

Секции рассыпной обмотки не имеют пазовой изоляции, поэтому перед укладкой в пазы якоря ставят соответствующую изоляцию.

Пазовая изоляция применяется обычно из лакоткани, прессшпана или летероида, толщиной 0,1—0,2 *мм*, и бывает ординарная, двойная или тройная. Ординарная изоляция состоит из одного слоя прессшпана или летероида, двойная — из одного слоя лакоткани и одного слоя прессшпана или одного слоя летероида и одного слоя лакоткани.

Ординарная изоляция применяется для якорей с небольшим рабочим напряжением (12—24 V). Двойная и тройная изоляции применяются для якорей с рабочим напряжением 110—220 V.

Нарезка пазовой изоляции (коробочек) должна быть произведена с таким расчетом, чтобы вставленная в пазы якоря изоляция была длиннее железа, взятого вместе с изолирующими дисками, на 1—2 *мм* на каждую сторону.

Наружная прессшпановая коробочка, обычно называемая проходной, нарезается шире лакоткани на 8—10 *мм* для того, чтобы удобнее было вкладывать проводники обмотки через шлиц железа, предупреждая этим порчу изоляции проводника.

Вложенные в пазы изоляционные коробочки обжимаются на месте при помощи деревянных оправок, после чего стороны их плотно прилегают к стенкам пазов. Этим предупреждается возможность порвать коробочки, в особенности на углах, при осаживании обмотки клиньями.

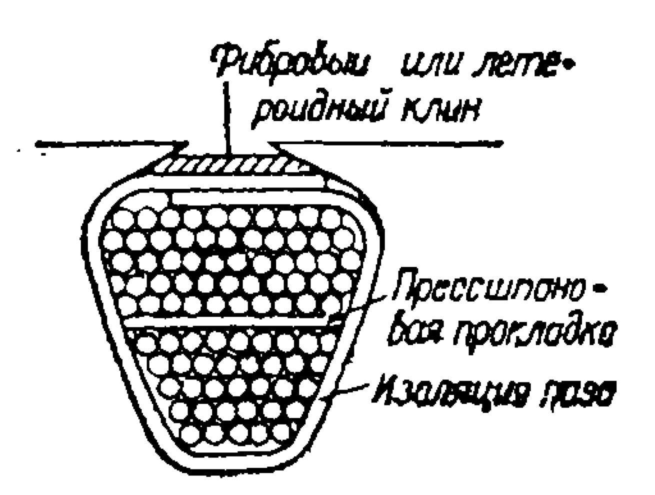


Рис. 337. Разрез паза.

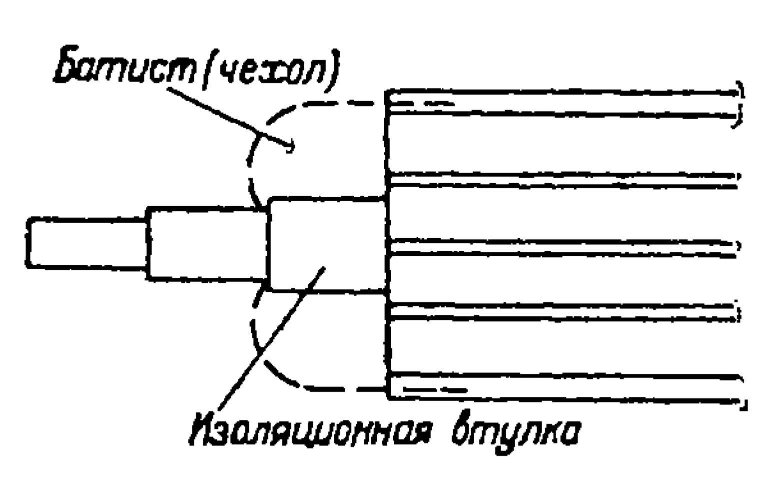


Рис. 338. Наложение батистового чехла.

Для изолировки задней стороны вала, где с ним может соприкасаться обмотка, на вал надевается изоляционная трубка из бакелитовой (фенолденовой) бумаги.

Вал со стороны коллектора должен быть изолирован 2—3 слоями лакоткани. Для примера рассмотрим вкладку обмотки в пазы якоря по следующим данным:

1) обмотка петлевая,
2) шаблон состоит из 3 секций,
3) проводник круглый, марки ПЭШО (провод эмалированный, с шелковой ординарной изоляцией),
4) число пазов 14,
5) число сторон секций в пазу 6,
6) число секций в якоре 42,
7) число витков в секции 22,
8) шаг по железу 7 (из 1-го в 8-й паз),
9) шаг по коллектору 1 (1—2),
10) число коллекторных пластин 42,
11) число проводников в пазу 132.

Сначала укладываются первые семь шаблонов правыми нижними сторонами соответственно в 8-й, 9-й, 10-й, 11-й, 12-й, 13-й и 14-й пазы (счет пазов производится по часовой стрелке со стороны коллектора); левые стороны этих шаблонов временно не вкладываются в пазы якоря. Стороны укладываемых шаблонов опускаются в пазы секционно.

Каждая уложенная в паз секция шаблона обжимается в пазу фибровым клином для лучшего заполнения паза.

Далее в 1-й паз укладывают нижние секции 8-го шаблона, т. е. его правую сторону, а верх (левая сторона) вкладывают в 8-й паз, где лежит уже нижняя сторона 1-го шаблона. Перед укладкой верхних сторон шаблонов на нижние стороны прокладывают прессшпановую прокладку для предупреждения возможного виткового соединения. 9-й шаблон укладывается правой стороной на низ 2-го паза, а верх его — в 9-й паз на низ 2-го шаблона. Затем так же укладываются остальные шаблоны в соответствующие по шагу пазы, после чего опускаются верхние стороны не полностью уложенных шаблонов в 1-й, 2-й, 3-й, 4-й, 5-й, 6-й и 7-й пазы якоря.

После укладки обмотки обрезают излишки проходных коробочек, а стороны их загибают в пазу вперекрой. Сверху загнутых коробочек ставят летероидный клин, как это показано на рис. 337.

Для защиты от механических повреждений и от действия центробежной силы лобовую часть обмотки укрепляют со стороны, противоположной коллектору, для чего под изоляционную трубку во время насадки ее на вал подкладывают конец батиста и закрепляют его наложением веревочного бандажа. На рис. 338 показан изолированный якорь с батистовым чехлом. Пунктиром показано, как будет загибаться батист на лобовую часть обмотки.

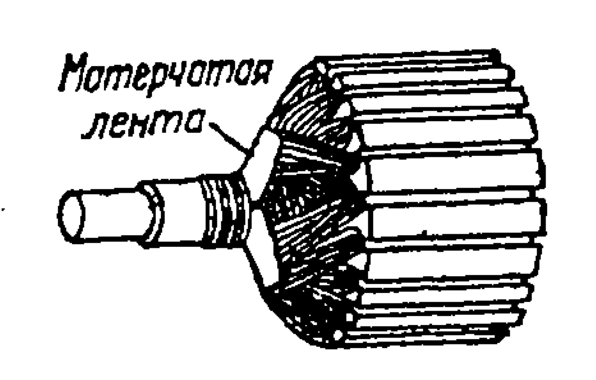


Рис. 339. Закрепление секций.

По другому методу крепление лобовой части обмотки производится путем связывания лобовых частей шпагатом или полотняной лентой. Лента укрепляется на валу до намотки, а после намотки ее концами стягивают последние катушки, которые укрепляются шпагатом, как показано на рис. 339.

Якори более крупных машин с рассыпной обмоткой вкладываются аналогично, а вместо фибровых или летероидных клиньев устанавливаются деревянные клинья.

4. УКЛАДКА СТЕРЖНЕВЫХ СЕКЦИЙ

А. Укладка стержневых секций при отсутствии уравнителей

Как указывалось выше, заготовка одновитковой секции состоит из стержня прямоугольного сечения, изолированного одной хлопчатобумажной лентой.

После того как обмоткодержатели обеих сторон будут изолированы, приступают к установке изоляции паза якоря. Изоляция здесь зависит от тех условий, в каких будет работать машина. Например, если машина будет работать в сыром помещении, то пазовую изоляцию ставят из прессшпана или летероида, пропитанных в вареном масле. Непропитанные прессшпан или летероид редко употребляются вследствие их гигроскопичности. Пропитке следует подвергать уже заранее заготовленную по пазу коробочку, так как после пропитки места загибов ослабляются в механическом отношении.

В качестве примера рассмотрим укладку обмотки, схема которой дана на рис. 340, а выполнение пазовой изоляции — на рис. 341.

Заложив приготовленную заранее пазовую изоляцию в пазы якоря, делают отметки на железе, т. е. отмечают зубцовый и коллекторный шаги таким же образом, как и при вкладке многовитковой секции. На схеме (рис. 340) зубцовый шаг равен 16, т. е. одна сторона лежит в 1-м, а вторая — в 17-м пазу, а коллекторный шаг равен 32, т. е. один конец присоединяется к 1-й пластине, а второй — к 33-й пластине (обмотка волновая).

Приступая к укладке обмотки в пазы железа, поступают следующим образом. Конец нижней стороны секции сперва продевается в ушко, соответствующее 33-й коллекторной пластине, а пазовая часть нижней стороны опускается на дно 17-го паза постукиванием ручника по деревянному или фибровому клину. Длину деревянного или фибрового клина желательно иметь равной длине пазовой изоляции, чтобы как секция, так и изоляция паза осаживались по всей длине равномерно. Концы первой секции для проверки шага по коллектору помечаются

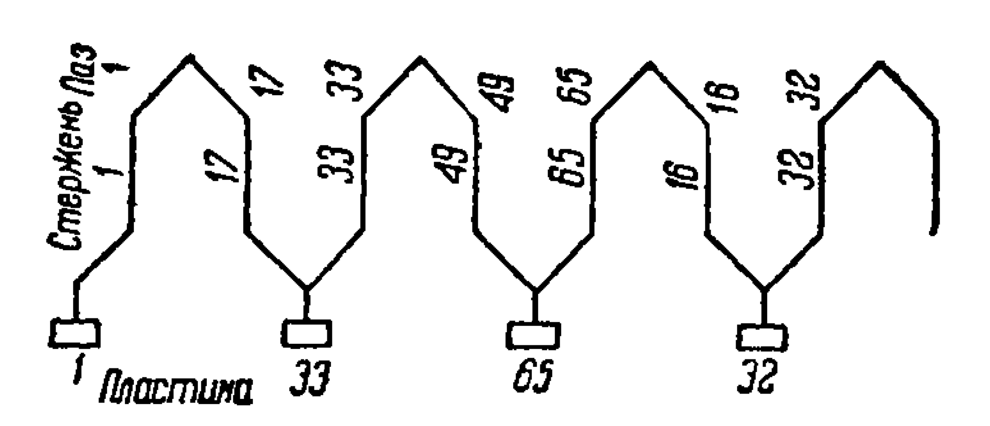



Рис. 340. Схема обмотки.

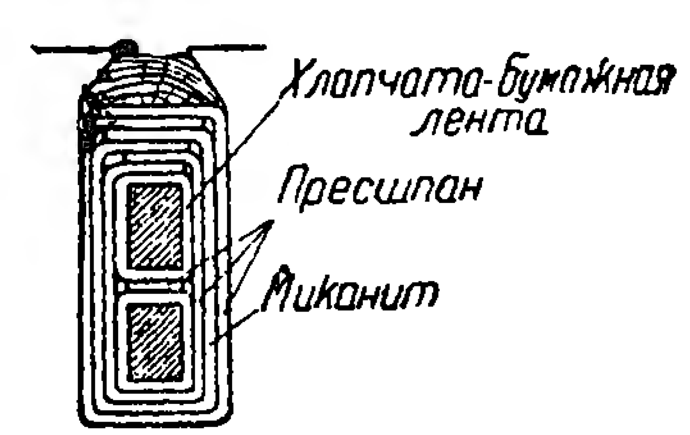


Рис. 341. Разрез паза с обмоткой.

(откусываются). Когда нижняя сторона секции будет уложена в паз, верхняя сторона остается временно невложенной и как бы висит в воздухе. Таким же способом, как первая секция, вкладываются все остальные секции: вначале нижний конец секции вкладывается в ушко коллекторной пластины, и нижняя пазовая часть — в паз: верхняя часть секции остается невложенной в пазы.

Между лобовыми частями секции с обеих сторон ставится междуслойная изоляция из прессшпана, толщиной несколько менее двойного радиуса головки, т. е. если внутренний радиус головки равен 5 *мм*, то изоляция между верхом и низом секций в лобовой части ставится толщиной 8 *мм*. Ширина ее равна вылету лобовой части — от загиба прямой части до головки, и длина равняется длине окружности по верху нижних сторон секций в лобовой части.

Закрепив прокладку в лобовые части обеих сторон, приступают к вкладке верха секций в пазы.

Перед укладкой второй стороны секции помещают в паз прессшпановую или миканитовую прокладку. Длина прокладки должна быть более прямой части секции на 5 *мм*, чтобы на углах, в месте перехода прямой части в лобовую, не могло произойти в дальнейшем соединения между секциями. Конец верхней стороны 1-й секции вставляется в ушко первой помеченной коллекторной пластины, и в 1-й помеченный паз укладывается ее пазовая часть.

После закладки всех секций пазовую часть обмотки осаживают при помощи деревянного или фибрового клина. Выступающую поверх паза изоляцию обрезают до надлежащего размера и концы ее загибают друг на друга вперекрой, как указано на рис. 341.

Для укреплений секций в пазах поверх забиваются деревянные клинья, которые входят в соответствующие гнезда пазов (ласточкин хвост) и тем самым удерживают секции. Длина клиньев равна длине пазовой изоляции. Клинья должны плотно сидеть в пазу и своей нижней плоскостью плотно прижимать пазовую часть обмотки. Верхняя часть клина не должна выступать выше железа паза. Те клинья, которые выступают выше железа якоря, состругиваются или опиливаются. Чтобы при забивке клиньев не повредить изоляции паза, концы клиньев закругляют.

После забивки клиньев производят оправку, осадку и рихтовку лобовых частей обмотки при помощи деревянного клина, металлической лопатки и ручника. На обеих лобовых сторонах между отдельными стержнями ставятся дистанционные прокладки из прессшпана или твердого картона лучшего качества, пропитанных в масле. Дистанционные прокладки обычно устанавливаются там, где будет поставлен бандаж. Если вылет обмотки более 120 *мм*, то ставят две прокладки; менее 120 *мм* — по одной. Установкой прокладок достигается одинаковое расстояние лобовых частей секций друг от друга, а также плотность в лобовой части обмотки, и исключается опасность соединения витков соседних секций. Кроме того, благодаря дистанционным прокладкам между сторонами секций образуется свободное пространство, куда легко проникает воздух, охлаждающий обмотку. На рис. 336 показано расположение дистанционных прокладок.

Во время осадки лобовой части по ее поверхности ставят для обжима временные бандажи из 2—3 оборотов железной мягкой проволоки, под которую подкладывают прессшпан, чтобы не повредить изоляции. Бандаж во время осадки лобовых частей все время подтягивается путем скручивания плоскогубцами концов проволоки.

После осадки и оправки лобовых частей обеих сторон на стороне коллектора в ушки между вложенными верхними и нижними концами секций вбивают медные залуженные клинышки, шириной равные ширине ушка. Они служат для заполнения ушка и способствуют лучшей запайке. Между отдельными ушками вбивают временные конусные деревянные клинья для лучшего обжатия ушков, а также для их выправки. Материалом для деревянных клиньев служит дерево твердых пород — береза, бук, клен и т. п.

После забивки деревянных клиньев якорь поступает на обрезку концов стержней, выходящих из петушков.

Б. Укладка полусекций при наличии вилкообразных уравнителей

При укладке обмотки такого типа в пазы сначала укладываются уравнительные соединения на задней стороне якоря. На изолированный обмоткодержатель накладывается заранее заготовленная для головок уравнительных соединений бакелитовая гребенка, состоящая

из двух половин и имеющая число впадин, равное числу головок соединений для данного якоря. В эти впадины укладываются головки уравнительных соединений, как указано на рис. 342. На концах уложенного первого уравнителя делается отметка путем откусывания острогубцами его углов.

При укладке уравнительных соединений поверх уложенных 3—4 уравнителей наматывают два оборота хлопчатобумажной ленты, а остальные уравнители укладывают, подсовывая их под ленту, служащую для их удержания. Между верхним и нижним стержнями уравнителей ставится прессшпановая прокладка, толщиной от 1 до 5 *мм*, по ширине равная расстоянию от края бакелитовой гребенки до начала загиба лобовой части.

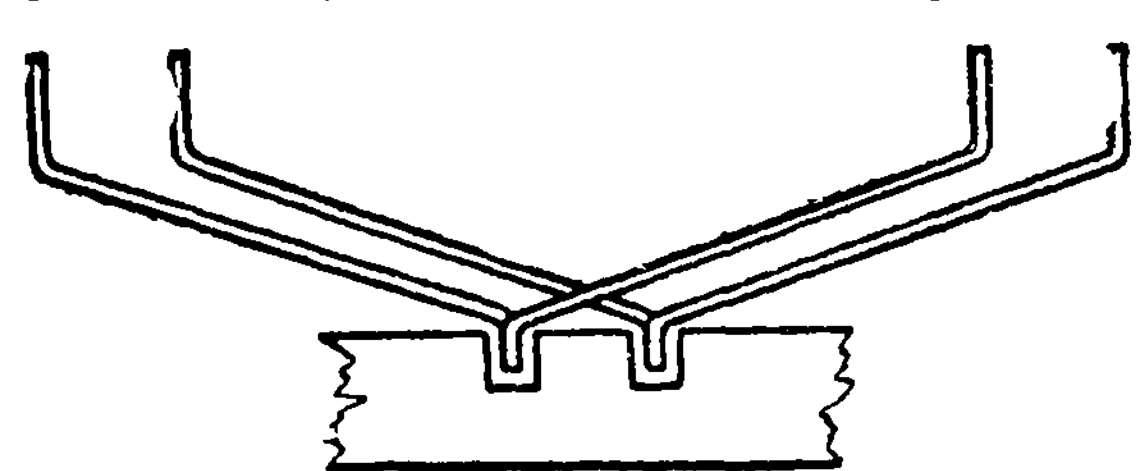


Рис. 342. Расположение уравнительных секций.

На рис. 343 дана в виде примера схема петлевой обмотки с вилкообразными уравнителями. Шаг по железу (зубцовый шаг) равен 16.

Концы уложенных уравнителей связываются лентой или вязальной проволокой по шагу согласно схеме соединения уравнителей. Когда

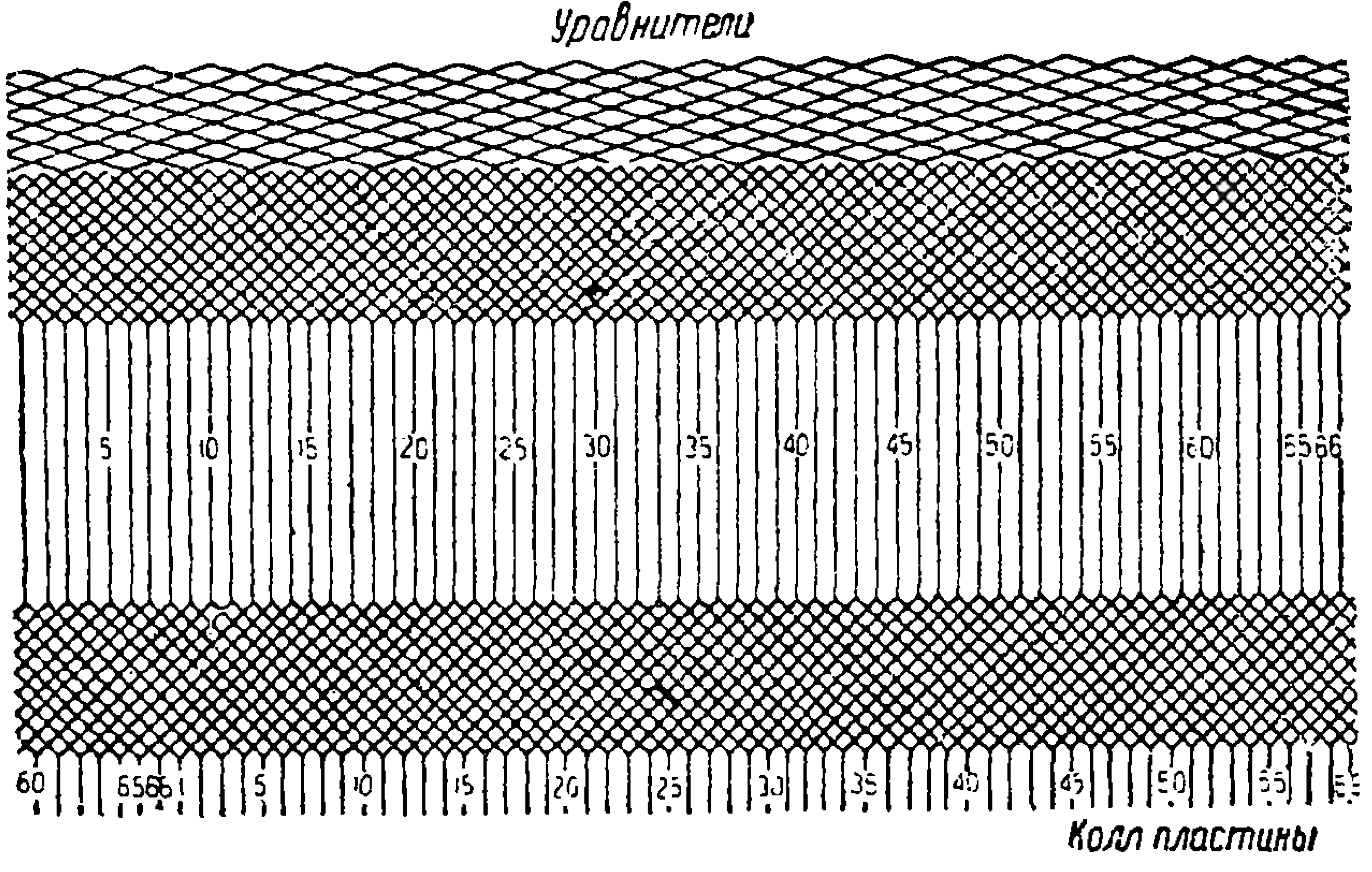


Рис. 343. Схема обмотки.

будет выполнено временное соединение всех уравнительных концов, поверх них ставят два временных бандажа, каждый из двух оборотов мягкой железной проволоки. Один бандаж — посередине, второй — у места загиба концов, после чего уравнители выравнивают и оправляют путем рихтовки, т. е. подбивания одного стержня к другому, выдерживая размер вылета. После этого якорь с наложенными урав-

нительными соединениями передается на бандажировочный станок для наложения постоянного бандажа (установку бандажей см. ниже).

Затем якорь снова поступает к обмотчику, который накладывает поверх бандажа изоляцию. Изоляция состоит из гибкого миканита, толщиной по 1,5 *мм* и шириной на 10 *мм* более ширины бандажа на уравнителях. Наложенный миканит состоит из двух слоев вперекрой. Сверху миканитовая изоляция скрепляется хлопчатобумажной лентой и заутюживается горячим утюгом, вследствие чего она хорошо приклеивается.

Когда изоляция на уравнителях поверх бандажа будет готова, хлопчатобумажную ленту снимают и в пазы вставляют изоляцию, состоящую из прессшпана и миканита, как указано на рис. 344. После этого приступают к вкладке в пазы полусекций.

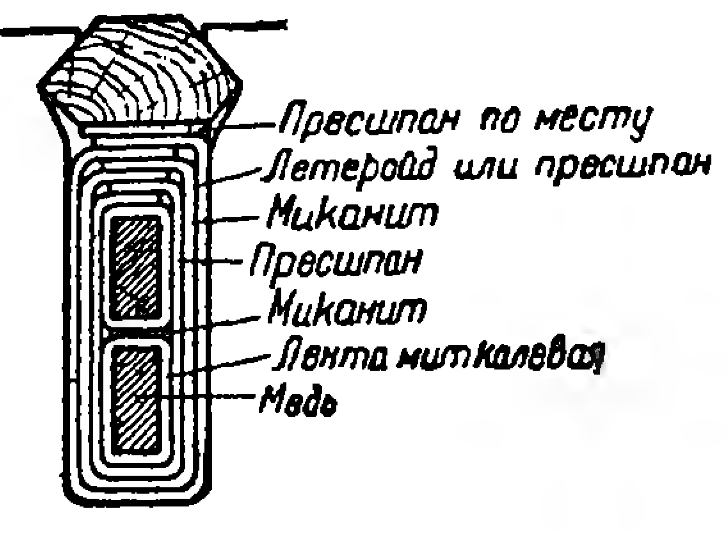


Рис. 344. Разрез паза с обмоткой.

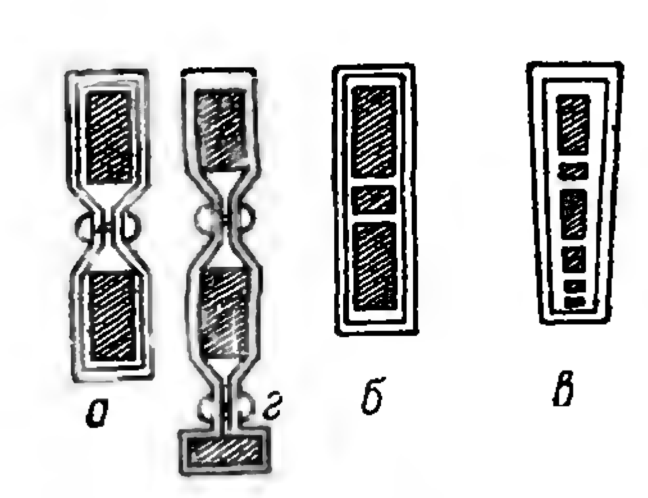


Рис. 345. Хомутики для соединения обмоток.

Дальнейшие операции по вкладке секций по существу ничем не отличаются от вкладки волновой обмотки, рассмотренной нами выше. Исключение представляет только соединение между собой верхних и нижних полусекций.

Соединение полусекций со стороны коллектора производится петушками, а с передней стороны — при помощи хомутиков *б* и *в*, показанных на рис. 345. Хомутики *в* ставятся там, где к секциям — стержням присоединяются уравнители, а хомутики *б* — для соединения полусекций в тех местах обмотки, где уравнителей нет.

Как видно из схемы рис. 343, первый хомутик следует надеть на два отмеченных конца верхней и нижней полусекций, т. е. на нижний конец полусекции, лежащей в 17-м пазу, и на верхний конец полусекции, лежащей в 1-м пазу. В этот хомутик должны также войти два конца уравнительных соединений, отмеченных ранее.

Хомутики типа *в* (рис. 345), как видно из схемы, ставятся через каждые два обыкновенных хомутика типа *б*. Вставленные в хомутики концы полусекций обжимаются плоскогубцами вместе с хомутиками. После установки хомутиков лобовая часть рихтуется, оправляется, ставятся дистанционные прокладки. Обмотка в лобовой части со стороны уравнителей плотно поджимается временными бандажами.

Затем в хомутики забивают медные луженые клинья и с помощью рейсмуса проверяют положение хомутиков, т. е. их расстояние от железа, а тем самым и вылет лобовой части. После забивки всех клиньев в хомутики и предварительной обрезки концов между хомутиками

забиваются деревянные конусные клинья для лучшего обжатия хомутиков и выравнивания концов при окончательной рихтовке.

Забив деревянные клинья как с одной стороны якоря — между хомутиками, так и с другой — между петушками, производят окончательную оправку лобовых частей обеих сторон и после этого окончательно обе стороны выравнивают по рейсмусу. Если какой-либо хомутик или петушок удаляется или приближается к пруту более, чем первый, выверенный, его поджимают в ту или другую сторону при помощи небольшой железной лопаточки, ударяя по ней ручником.

После окончательной рихтовки обмотка якоря проверяется на корпус (см. ниже) и поступает на запайку хомутиков и петушков. После этого производят обрезку концов с обеих сторон.

В. Укладка полусекций с уравнителями в виде колец

Для примера рассмотрим укладку обмотки, схема которой дана на рис. 346. Обмотка состоит из полушаблонов, включающих каждый две полусекции, изолированные в пазовой части, как указано на рис. 347, а в лобовой части — одной хлопчатобумажной лентой. На рис. 346 видно, что в пазу имеются четыре стержня, т. е. четыре стороны секций. Как видно из схемы,—обмотка волновая. Шаг по железу равен 16 (т. е. *1—17*), а по коллектору — 66 (т. е. *1—67*). Обмотка имеет уравнительные кольца.

Разметку зубцового и коллекторного шагов делают, как указано было выше. После разметки приступают к укладке уравнительных соединений.

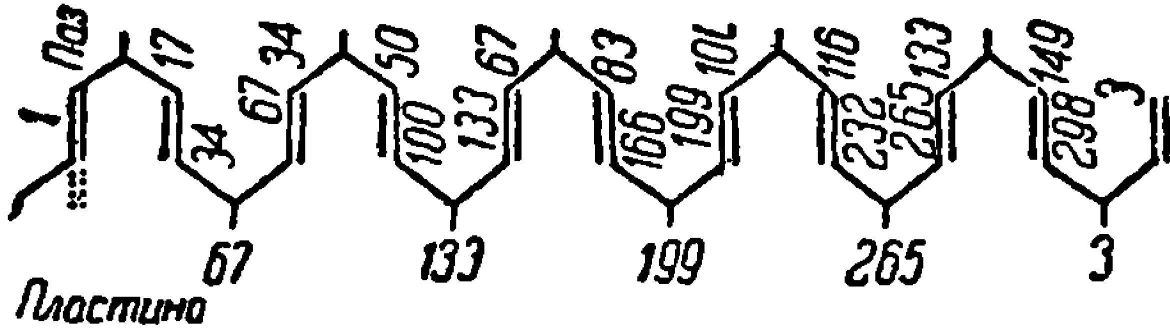


Рис. 346. Схема обмотки.

Обмотка рассматриваемого якоря имеет 12 уравнительных кабелей. Кабель для этой цели обычно берется марки ПРГН (Провод — Резиновый — Гибкий — Нормальный). Один конец кабеля соединяют на стороне коллектора с коллекторным петушком (так называемой точкой *Д*), а второй конец соединяют с уравнительным кольцом, находящимся на стороне, противоположной коллектору. Сечение уравнительного кабеля, идущего от коллекторной пластины к кольцу, выбирается в зависимости от силы тока.

Кабели проходят от коллектора на противоположную сторону по 4-м железным трубкам, расположенным внутри буксы якоря. Через каждую трубку идет по 3 уравнительных кабеля.

На концах кабелей, выходящих из трубок, привешиваются ярлыки с обозначением номера уравнительного кабеля и номера соединяемых секций.

Уложив в пазы коробочки, толщиной 0,20 *мм*, из пропитанного заранее прессшпана, приступают к вкладке в пазы полусекций, состоящих из двух стержней, изолированных в пазовой части микафолием. Укладка начинается согласно схеме (рис. 346) с 17-го паза и производится так же, как было указано выше.

После укладки обмотки и на задней стороне производится соединение полусекций в секции путем надевания соединительных хомутиков. Из схемы (рис. 346) видно, что задний конец 1-й верхней полусекции соединяется с концом 34-й нижней полусекции. Правильность этого соединения должна быть тщательно проверена. На оба конца надевается хомутик, имеющий внизу отверстие для вывода от уравнительного конца (хомутик показан на рис. 345, *г*).

Соединение остальных полусекций производится нормальными хомутиками *а*, показанными на рис. 345.

Соединив все полусекции в секции при помощи хомутиков, рихтуют лобовые части и устанавливают дистанционные прокладки (по задней стороне). Все хомутики обжимают плоскогубцами, после чего между хомутиками ставят деревянные конусные клинья и концы обмотки рихтуют по рейсмусу, т. е. устанавливают равномерный вылет концов от железа.

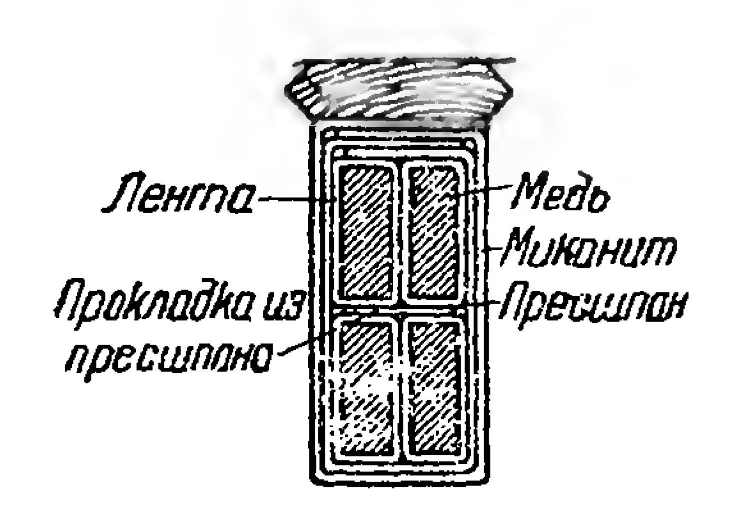


Рис. 347. Разрез паза с обмоткой.

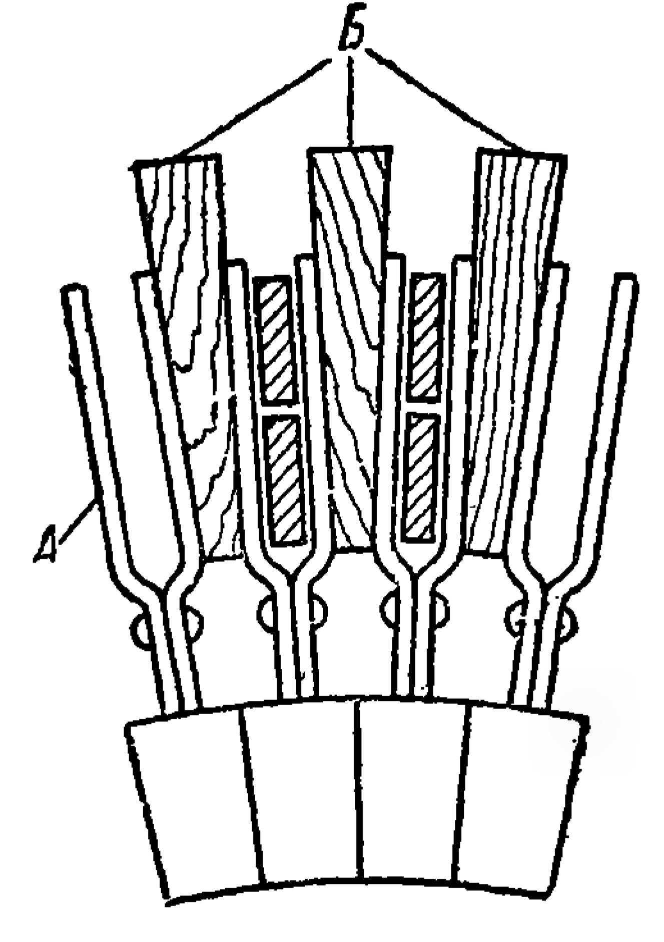


Рис. 348. Место установки деревянных клиньев.

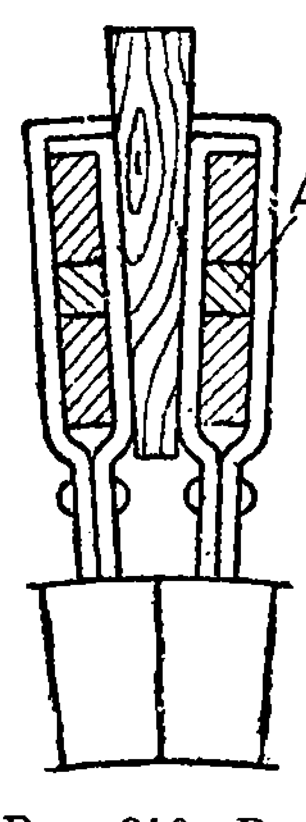


Рис. 349. Вид закрытого петушка.

На стороне коллекторных пластин лобовые части обмотки также рихтуются и выравниваются. Между стержнями ставятся дистанционные прокладки, а между ушками коллекторных пластин также забиваются деревянные конусные клинья. Этими клиньями достигается выправление коллекторных петушков, выравнивание расстояний между ними и плотное обжимание стержней обмотки самим ушком.

На рис. 348 показаны поставленные между ушками *А* деревянные клинья *Б*, которые прижимают ушки к вложенным в них концам обмотки. В ушки между концами верхней и нижней секции забиваются луженые медные клинья.

После забивки в ушки медных клиньев деревянные клинья забивают более плотно и приступают к загибу концов ушков, что производится при помощи тупого бородка и ручника следующим путем: сначала загибается одна сторона ушка, на нее накладывается вторая сторона, которая также загибается, и в результате петушок закрывается.

На рис. 349 показан закрытый петушок. Здесь же виден медный клин *А*, забитый между нижним и верхним концами.

Во время закрытия ушков деревянные клинья между ними могут ослабнуть, поэтому их следует подколачивать до плотного оседания.

После загиба всех ушков коллекторных пластин и их рихтовки на задней стороне устанавливают заранее заготовленные уравнительные кольца, которые вставляют в определенные места на обмоткодержателе задней стороны, и производят соединение выводов колец с кабелями и хомутиками, указанными выше, согласно схеме уравнительных колец. После этого якорь поступает на испытание обмотки на корпус и далее на запайку и бандажировку.

Г. Укладка стержневых полусекций в пазы до посадки коллектора на вал

Этот тип якоря перед укладкой обмотки не имеет на валу коллектора. Коллектор насаживается после укладки обмотки, что вызвано удобством соединения обмотки с коллектором. В данном случае обмотка соединяется с коллектором при помощи хомутика с хвостиками, показанного на рис. 350. Процесс укладки стержней такой же, как было описано ранее.

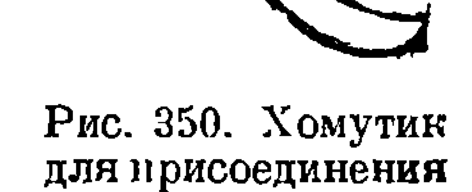


Рис. 350. Хомутик для присоединения к коллектору.

После укладки обмотки и запайки хомутиков с задней стороны якорь поступает на посадку коллектора, затем в шлицы последнего вставляются хвостики от хомутиков передней стороны якоря.

При вкладке в шлиц хвостик хомутика выправляется плоскогубцами и посредством тупой железной лопатки забивается на дно шлица. Каждый хвостик должен утопать в шлице на 1—2 *мм;* чтобы при проточке коллектора нельзя было задеть хвостиков.

После забивки хвостиков в шлицы все хомутики выправляются, и якорь поступает на запайку концов хвостиков и на бандажировку.

5. УКЛАДКА РОТОРНЫХ ОБМОТОК АСИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

В качестве примера рассмотрим намотку 12-полюсного ротора с 144 пазами. На полюс-фазу таким образом приходится 4 паза. Схема обмотки представлена на рис. 351 (обмотка с удлиненным переходом).

После наложения изоляции на обмоткодержатель в пазы ротора вкладывают заранее приготовленные проходные коробочки из прессшпана или летероида. Роторы всегда имеют полузакрытые пазы. Толщина коробочек бывает от 0,20 до 0,30 *мм*; по длине они на 10—15 *мм* больше длины железа ротора, т. е. равны пазовой изоляции стержня.

На железо ротора ближе к стороне *К* (контактных колец) накладывается прессшпановая лента и закрепляется шпагатом. Согласно таблице приложения I против каждого паза наносят черточки и помечают номера пазов.

Для данного примера наносят сто сорок четыре черточки и такое же количество номеров пазов по порядку, после чего приступают к вкладке в пазы стержней. Вкладка начинается с переходных стержней (поперечек), назначение которых было объяснено выше. В данном роторе нормальный шаг равен 12, а ненормальный —13. Удлиненных роторных

стержней должно быть 18, по 6 на каждую фазу. Поперечки располагают по окружности симметрично, угол между ними 120°. Они вставляются в пазы ротора со стороны контактных колец. Первую поперечку ставят согласно рис. 351 одним концом в 4-й паз, а вторым — в 136-й паз. Вторую поперечку ставят одним концом в 32-й паз и вторым концом в 44-й паз, а третью поперечку одним концом в 96-й паз и вторым концом в 108-й паз.

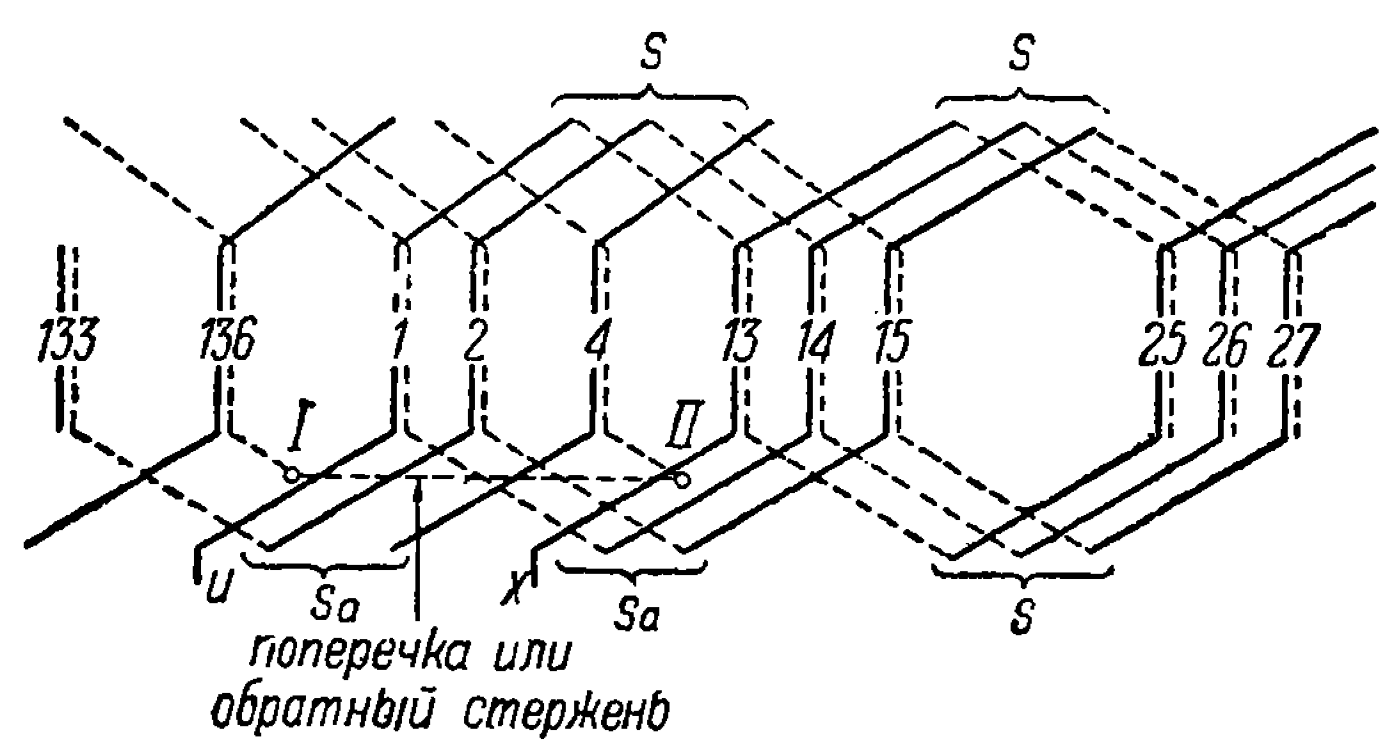


Рис. 351. Схема обмотки ротора.

Вложенные поперечки на стороне контактных колец изолируются гибким миканитом, чтобы при наложении второго слоя стержней не повредить их изоляции. Когда вложены все стержни нижнего ряда на стороне контактных колец, по лобовым частям стержней ставятся временные бандажи из мягкой железной проволоки — один по концам и второй по серединам стержней, чтобы прижать их к обмоткодержателю. После этого приступают к изгибу лобовых частей стержней на стороне привода, которые до сего времени оставались прямыми.

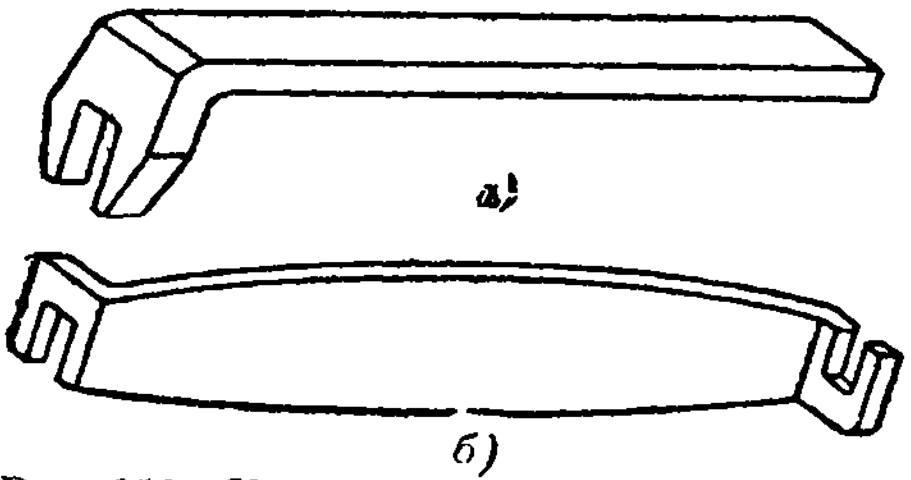


Рис. 352. Ключи для загиба роторных стержней.

Загиб стержней производится при помощи двух ключей, показанных на рис. 352. Ключ *а* берется в левую руку и своим зевом надевается на прямую часть стержня, выходящую из паза, и в таком положении стержень удерживается. Ключ *б* (в правой руке) также надевается на стержень и своим зевом подходит вплотную к губкам ключа *а*. Ключом *б* делается изгиб стержня на угол 120°. Таким путем изгибают все нижние стержни, среди которых и шесть концов поперечек. Затем на эти стержни также ставят два временных бандажа из железной мягкой проволоки. Легкими ударами деревянного ручника по концам стержней их осаживают и одновременно стягивают проволокой бандажа с помощью плоскогубцев, закручивающих концы проволоки и тем самым плотно прижимающих стержни к изолированному обмоткодержателю.

Теперь приступают к отгибу концов, предназначенных для надевания хомутиков, что выполняется с помощью тех же ключей. После отгиба концов на обеих лобовых частях нижнего ряда снимаются бандажи. На лобовые части той и другой стороны укладывается междуслойная изоляция из прессшпана и киперной ленты для предохранения соединения верхних стержней с нижними. Толщина изоляции от 2 до 5 *мм* — смотря по высоте, какую можно допустить, чтобы общая высота вместе с верхними стержнями и наложенным поверх них бандажом не получилась выше железа ротора.

Установив на обеих сторонах междуслойную изоляцию, приступают к вкладке верхних стержней. Предварительно в пазы ротора поверх нижнего стержня прокладывают прессшпановую полоску, пропитанную в масле или лаке, толщиной от 0,20 до 1 *мм*, шириной, равной ширине изолированного стержня, и длиной, равной длине прямой части стержня.

Вкладка верхних стержней производится так же, как и нижних. Так же выдерживается правильность положения прямой части, причем вкладку верхних стержней производят со стороны привода.

Когда все верхние стержни вложены в пазы ротора, на стороне привода ставятся временные бандажи, и все концы стержней на этой стороне временно соединяются тонкой луженой медной проволокой для производства первого испытания на корпус. Если изоляция стержней выдержит испытание, тогда на стороне контактных колец загибают концы стержней. На загнутые лобовые части верхних стержней также ставятся два временных бандажа, которыми верхние стороны лобовых частей плотно прижимаются к изоляции, лежащей между верхними и нижними стержнями. После этого приступают к соединению обмотки ротора на стороне привода, т. е. соединяют концы верхних и нижних стержней друг с другом посредством соединительных хомутиков.

Соединение производят согласно схеме рис. 351. Конец верхнего стержня, лежащий в первом пазу, соединяется с концом нижнего стержня, лежащим в 13-м пазу, далее конец второго верхнего стержня соединяется с концом четырнадцатого стержня, лежащаго внизу 14-го паза, и т. д. Следовательно на стороне привода соединительный шаг равен 12, т. е. из 1-го паза в 13-й. Таким путем производят все соединения на стороне привода. На этой стороне шаг нормальный.

Затем приступают к соединению стержней на стороне контактных колец, что выполняется также согласно схеме рис. 351 и таблице приложения I.

На этой стороне ротора имеются соединения, нормальные с шагом 12 и ненормальные с шагом 13, т. е. из 1-го в 13-й и из 1-го в 14-й паз.

Для примера рассмотрим соединение фазы I, где имеются две группы соединений с ненормальным шагом. В первой группе соединений конец первого верхнего стержня, лежащий в 1-м пазу и обозначенный в схеме латинской буквой U, пока не соединяется ни с чем и идет, как говорят, на выход. Конец верхнего стержня, лежащий во 2-м пазу, идет на соединение с нижним концом стержня, лежащим в 133-м пазу. Конец третьего стержня, лежащий в 3-м пазу, идет на соединение с концом нижнего стержня, лежащим в 134-м пазу. Конец четвертого стержня, лежащий

в 4-м пазу, идет на соединение с концом нижнего стержня, лежащим в 135-м пазу.

Следующая группа ненормальных соединений этой же фазы идет через 8 пазов и начинается в 13-м пазу. Так же как и конец первого стержня, конец тринадцатого стержня оставляем ни с чем не соединенным.

Он на схеме обозначен латинской буквой X. Далее, четырнадцатый стержень соединяется с концом первого нижнего стержня, пятнадцатый верхний стержень — с концом второго нижнего стержня и шестнадцатый верхний стержень — с концом третьего нижнего стержня.

Для выполнения ненормальных соединений должны быть изготовлены в данном случае на каждую фазу по шести удлиненных стержней. Все остальные соединения фазы *I* будут иметь нормальный шаг, равный 12.

Соединив все остальные стержни фазы *I*, нетрудно выполнить соединение остальных двух фаз.

Когда поставлены все хомутики на стержни на стороне контактных колец, приступают к рихтовке лобовых частей, причем выдерживаются размеры их вылетов, т. е. расстояние от железа ротора до наружного края хомутика. Затем в лобовой части обеих сторон между стержнями ротора устанавливаются дистанционные прокладки из пропитанного прессшпана. Стержни выравнивают и рихтуют с помощью ручника и железной лопатки, подбивая один стержень к другому После этого лобовые части на обеих сторонах с помощью фибрового клина и обыкновенного ручника легкими ударами осаживают плотнее к обмоткодержателю, подтягивая при этом временные бандажи путем скручивания проволоки плоскогубцами.

Когда обмотка окончательно осажена, в определенные по чертежу хомутики вбивают вентиляционные пластины, служащие лопастями вентилятора для охлаждения обмотки. Пластинки устанавливают с обеих сторон ротора: нормальные через четыре в пятый хомутик, а усиленные — в каждый третий хомутик. Установив вентиляционные пластинки, в хомутики забивают медные луженые клинья для заполнения промежутка между стержнями, что облегчает их запайку. Медные клинья должны плотно сидеть в хомутике. Забив все клинья в хомутики на обеих сторонах, приступают к выполнению соединения обмотки ротора.

После укладки и соединения всех стержней между собой остались несоединенными 6 концов — по 2 конца от каждой фазы, т. е. ее начало и конец; U и X — начало и конец фазы *I*, V и Y — начало и конец фазы *II*, W и Z — начало и конец фазы *III*.

В случае соединения фаз звездой на концы X, Y и Z надевают звезду, или, как мы ее назвали, нулевую шину. Начала U, V и W пойдут на соединения с тремя контактными кольцами.

Ротор испытывается на корпус и на правильность соединения и затем поступает на запайку концов обмотки в хомутиках.

Нами описан ротор, обмотка которого имела удлиненный ненормальный шаг с удлиненными стержнями. Это соединение выполнялось по таблице приложения I.

Иногда ненормальные шаги обмотки ротора выполняются не удлиненными, а укороченными. В приложении 11 дана таблица соединений роторов с укороченными шагами.

6. УКЛАДКА ОБМОТКИ РОТОРОВ НА 3000 *об/мин.*

Роторы на 3000 *об/мин* (двухполюсные) создают больше затруднений при укладке обмотки, нежели роторы с меньшим числом оборотов. Вследствие большой окружной скорости стержни ротора подвергаются действию больших усилий, могущих вырвать стержни из пазов и отогнуть лобовые части. Последнее обстоятельство заставляет усилить бандажи на обмотке.

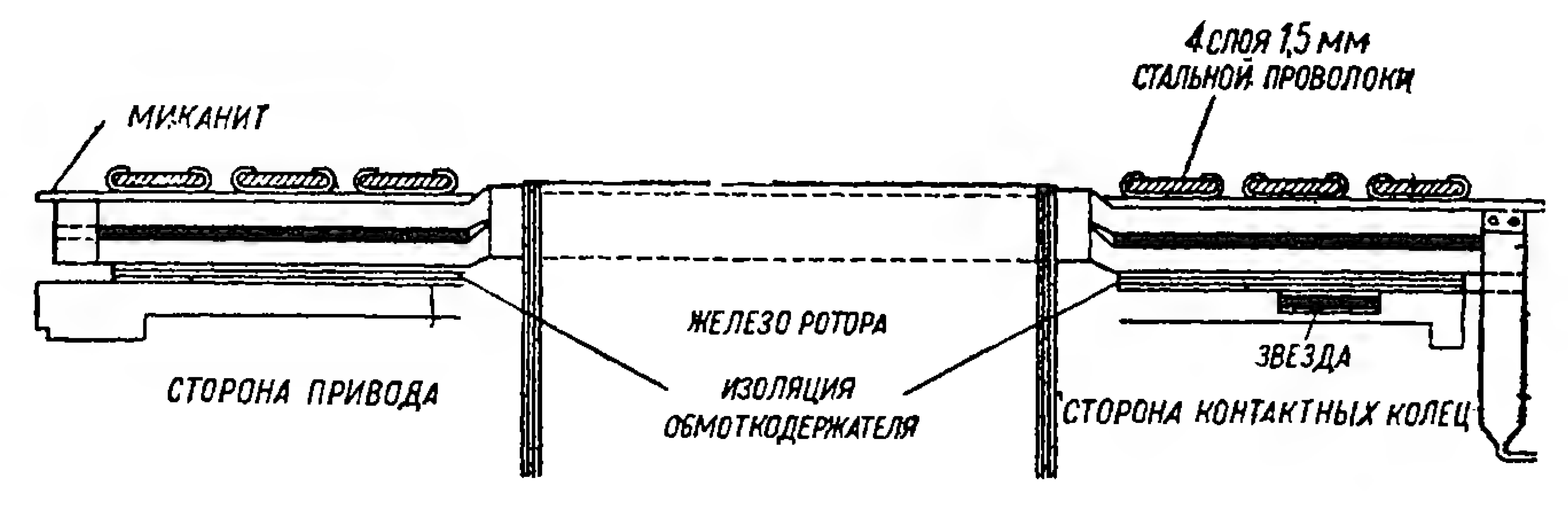


Рис. 353. Обмоткодержатель ротора на 3000 *об/мин.*

Перед укладкой обмотки приступают к изолировке обмоткодержателей.

А. Изолировка обмоткодержателей

Обмоткодержатель ротора на 3000 *об/мин* на стороне контактных колец (сторона *К*) имеет выемку — уступ (рис. 353), на стороне привода (сторона *П*) обмоткодержатель — гладкий.

Изолировку обмоткодержателя со стороны *П* производят следующим образом. По всей окружности обмоткодержатель промазывают шеллачным лаком, поверх которого накладывают полоски гибкого миканита, толщиной 0,7 *мм*, в 2 слоя, причем концы каждого слоя укладывают впритык. Места стыков смежных слоев по отношению друг к другу смещают на полуокружность.

Слои изоляции накладываются в следующем порядке. Вначале накладывают один слой гибкого миканита и для лучшего закрепления проглаживают его горячим утюгом, затем накладывают второй слой и также проглаживают горячим утюгом. Поверх слоев миканита накладывают слой изоляции из полос прессшпана, промазанных шеллаком, толщиной от 0,8 до 1 *мм*. Полосы прессшпана закрепляют на обмоткодержателе киперной лентой, которую также промазывают шеллаком. Киперную ленту также проглаживают горячим утюгом для склеивания прессшпана с лентой.

Обмоткодержатель на стороне контактных колец изолируется следующим образом. Прежде всего изолируется выемка. Изолировка производится гибким миканитом, толщиной в 1 *мм*. Вначале миканит накладывают на боковые части выемки, где он, смазанный шеллачным

лаком, проглаживается горячим утюгом или железной каленой лопаткой. Затем прокладывают полоску миканита, толщиной 1 *мм*, на дно выемки, промазанной также шеллаком; полоску тоже проглаживают, приклеивая ее к дну выемки. После изолировки выемки на остальной части обмоткодержателя (по бокам выемки) накладывают таким же образом и такую же изоляцию, как и на стороне *П*, не закрывая выемки.

Б. Вкладка стержней в пазы

В качестве примера рассмотрим укладку обмотки трехфазного ротора с 72 пазами. Обмотка двухслойная петлевая. Напряжение на кольцах ротора 750 V. Обмотка имеет 12 пазов на полюс и фазу. Схема обмотки представлена на рис. 354. Каждая фаза имеет две параллельные ветки, фазы соединены звездой. Начала двух параллельных ветвей фазы *I* — *II* и *U* соединены вместе, точно так же соединены вместе соответственно и начала фаз *II* и *III*, а именно: *IV* с *V* и *VI* с *W*. Концы всех фаз соединяются нулевой шиной в звезду.

После того как обмоткодержатель полностью изолирован, в пазы ротора *18*, *42*, *66* согласно рис. 354 со стороны *П* вкладывают прессшпановую коробочку, толщиной 0,2 *мм*, и в каждый из пазов вкладывают по одному стержню. На стороне *К* производят загиб концов этих трех стержней. Три конца этих стержней представляют собой концы трех фаз, которые будут соединены в звезду, или, как говорят, пойдут в нулевую шину. Из плоской медной полосы заданного сечения изготовляют нулевую шину. Нулевую шину вкладывают в изолированную выемку обмоткодержателя и концы ее запаивают встык серебряным припоем. С трех вставленных стержней в лобовой части снимается часть изоляции, и производится разметка на нулевой шине мест присоединения этих стержней, затем стержни припаиваются серебром к нулевой шине (рис. 355).

При запайке нужно следить, чтобы вылеты лобовых частей были выдержаны. Для предохранения изоляции обмоткодержателя от влияния пламени газа место пайки закрывается асбестовым полотном. После припайки следует стержни усиленно изолировать лакотканью и лентой. Нулевая шина после припайки стержней также изолируется лакотканью 1 раз в полнахлестки и укладывается в выемку, после чего в выемку вместе с нулевой шиной вкладываются полосы миканита и прессшпана, предварительно промазанные шеллачным лаком, и все это проглаживается горячим утюгом.

После изготовления звезды во все пазы ротора вставляют прессшпановые коробочки и вкладывают стержни нижнего ряда, на которые по лобовым частям со стороны *П* ставят три временных бандажа из мягкой железной проволоки, один по концам стержней, второй посередине и третий, отступая на 10—15 *мм* от пазовой части стержней.

На стороне *К* у лобовой части стержни изгибают у выхода из паза, это делается так же, как описано в предыдущем параграфе. Так как обмотка ротора петлевая, то изгиб ведется не от себя, как при волновой обмотке, а на себя. После загиба стержней на лобовой части стороны *К* ставятся 3 проволочных временных бандажа. Обмотка осаживается деревянным ручником, причем одновременно подтягивается

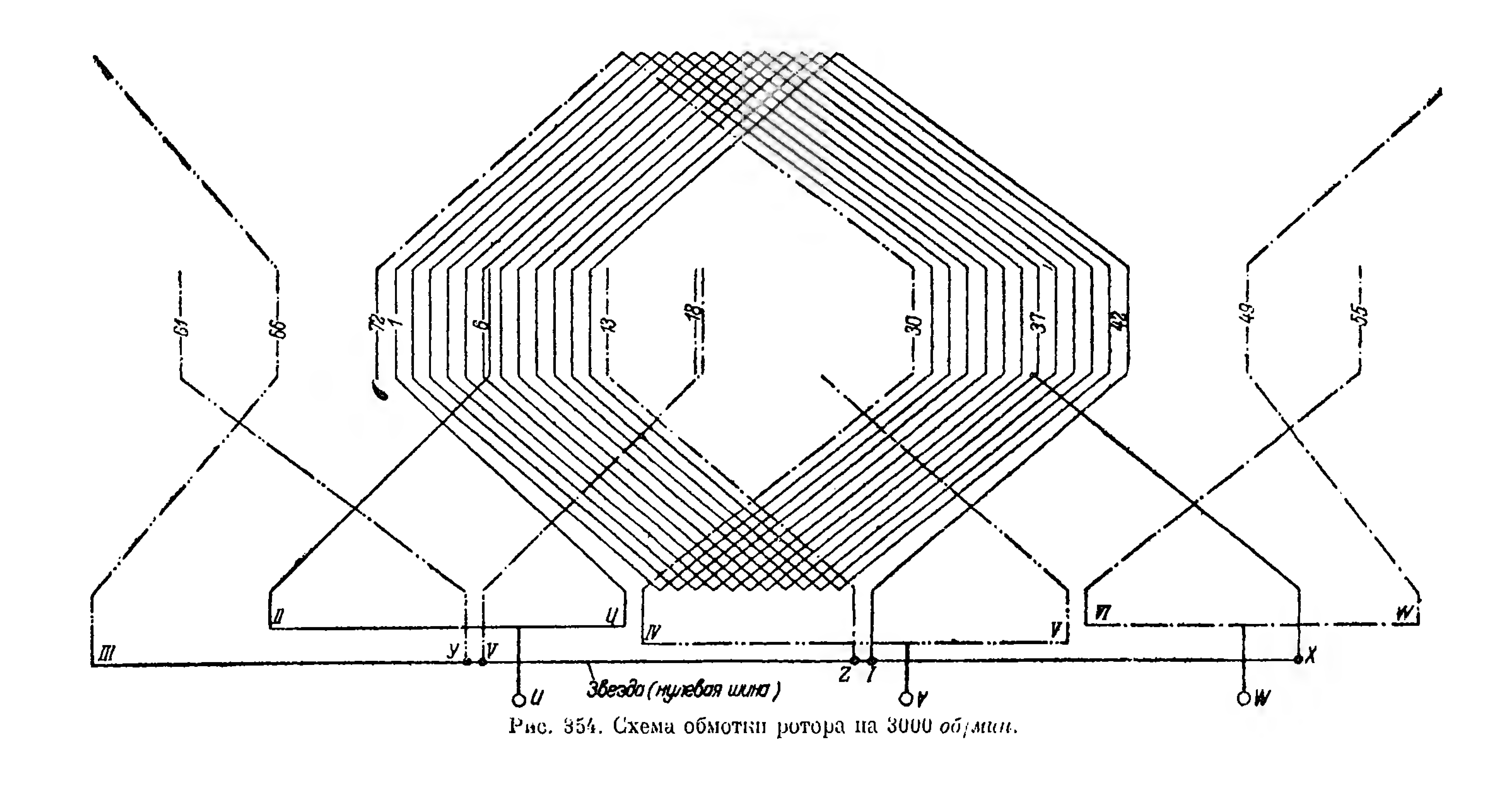


Рис. 354. Схема обмотки ротора на 3000 об/мин.

бандажом к обмоткодержателю, что производится в несколько приемов и с осторожностью. После окончательной осадки лобовой части на стороне *К* загибают концы стержней и с обеих сторон ротора ставят между стержнями дистанционные прокладки из прессшпана. Эти прокладки устанавливаются для предотвращения соединений стержней друг с другом, а также для плотности. При этом лобовые части рихтуют, т. е. выправляют имеющиеся неровности, следя за тем, чтобы вылет обмотки, т. е. расстояние концов стержней до железа ротора, был выдержан по чертежу. После этого на каждой стороне ротора снимают по 3 временных бандажа, оставляя лишь по одному бандажу по концам стержней, и накладывают на лобовые части нижних стержней изоляцию. Для этого нижние стержни слегка промазывают шеллаком и на них накладывают 2 полоски прессшпана, толщиной по 0,7 *мм*, и поверх них 2 полоски гибкого листового миканита той же толщины. Стыки полос миканита сдвинуты на полуокружность, причем стыки сделаны под углом в 45 °. Миканит и прессшпан закрепляются несколькими оборотами тафтяной ленты, причем последние обороты ленты для скрепления промазываются шеллачным лаком.

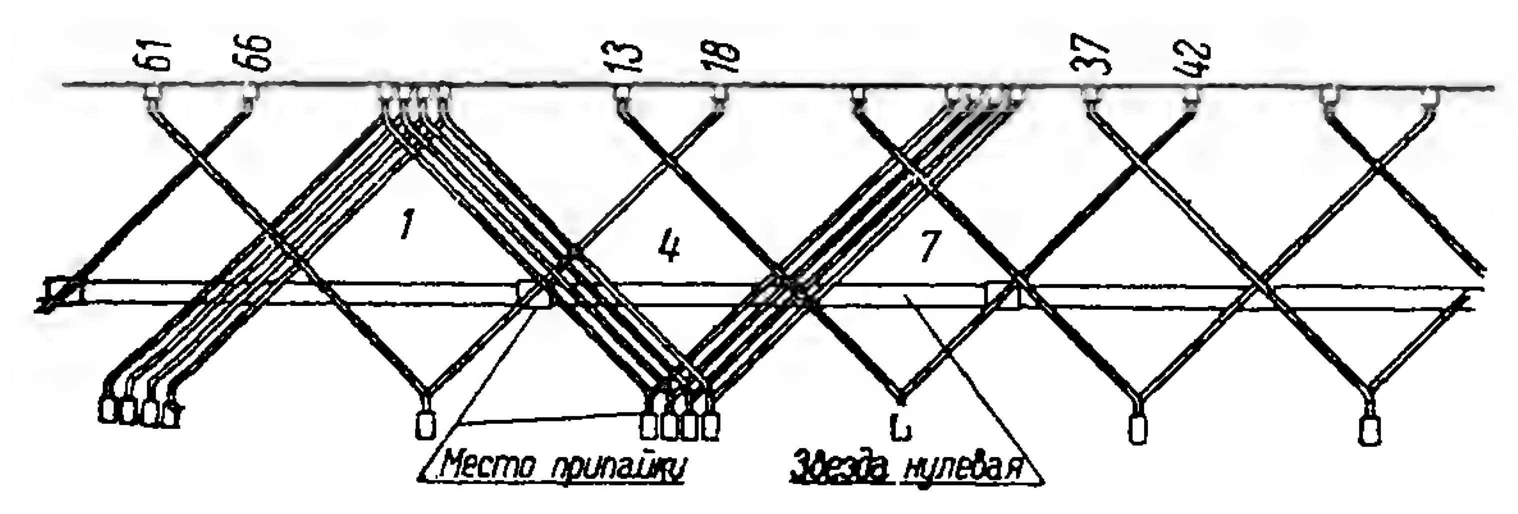


Рис. 355. Схема припайки концов к нулевой шине.

Далее вкладывают верхние стержни, которые вставляются в пазы со стороны *П*. Так же как и при вкладке нижних стержней, здесь следят за правильным расположением стержней в пазах и производят загиб их на стороне *К* у выхода из паза, при этом изгиб также ведут на себя. После изгиба ставятся 3 временных проволочных бандажа в тех же местах, что и при вкладке нижних стержней.

Затем обмотка ротора подвергается предварительному испытанию на корпус для уверенности в том, что никаких повреждений изоляция стержней не имеет. Если испытание выдержано, то ведут дальнейшую работу. На стороне *П* после изгиба стержней также ставят 3 временных бандажа, после чего ведут изгиб концов стержней. Бандаж с концов нижней обмотки снимают и производят соединения стержней верхнего и нижнего рядов. На концы нижних и верхних стержней, подлежащих соединению согласно схеме (см. рис. 354 и 355), надевают хомутики. Установив все хомутики на обеих лобовых частях, производят рихтовку их и установку дистанционных прокладок между верхними стержнями. Обмотку в лобовых частях осаживают и плотно поджимают временными бандажами к нижним стержням. В хомутики вставляют медные клинья для заполнения промежутков между концами стержней. При этом временные бандажи снимаются.

На стержни со стороны *К*, идущие к выводам, хомутики не надеваются.

Ранее нами указывалось, что нижние стержни, находящиеся в пазах *18*, *42* и *66*, идут в нулевую шину (рис. 355). Верхние концы стержней, лежащие в пазах *13*, *37* и *61*, тоже идут в нулевую шину. На эти шесть стержней (*I*, *III*, *V* и *X*, *Y*, *Z*) попарно надевают 3 хомутика, этим самым все

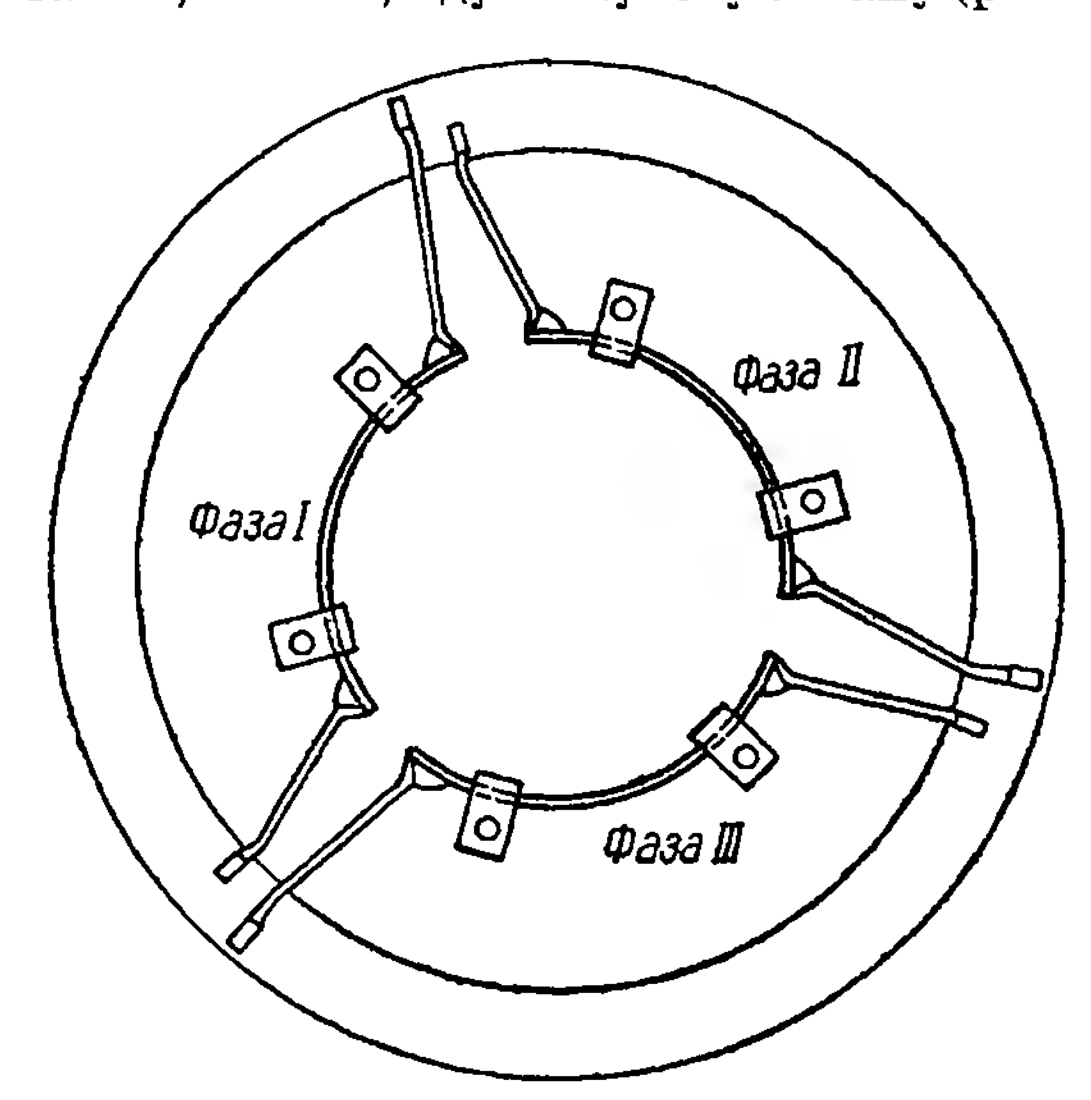


Рис. 356. Перемычки роторной обмотки.

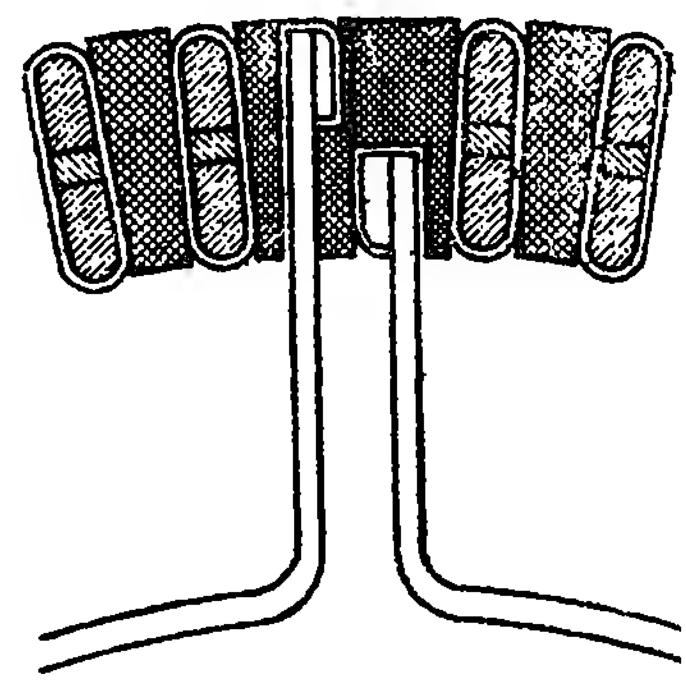


Рис. 357. Установка гэтинаксовых клиньев.

шесть стержней оказываются присоединенными к нулевой шине (см. рис. 354). К контактным кольцам идут 6 концов от двух параллельных групп. Эти концы соединены перемычками попарно: *II* с *U*, *IV* с *V* и *VI* с *W*.

Каждая пара стержней в дальнейшем присоединяется к контактному кольцу. Вид перемычек показан на рис. 356.

После установки перемычек ротор поступает на запайку хомутиков.

После запайки выходные концы стержней *II*, *IV*, *VI*, *U*, *V* и *W* усиленно изолируются для предотвращения междуфазного соединения. С обеих сторон ротора между хомутиками ставятся гэтинаксовые клинья, вид которых показан с торца на рис. 357. Эти клинья отделяют хомутики друг от друга. После этого ротор передается для наложения постоянных бандажей.

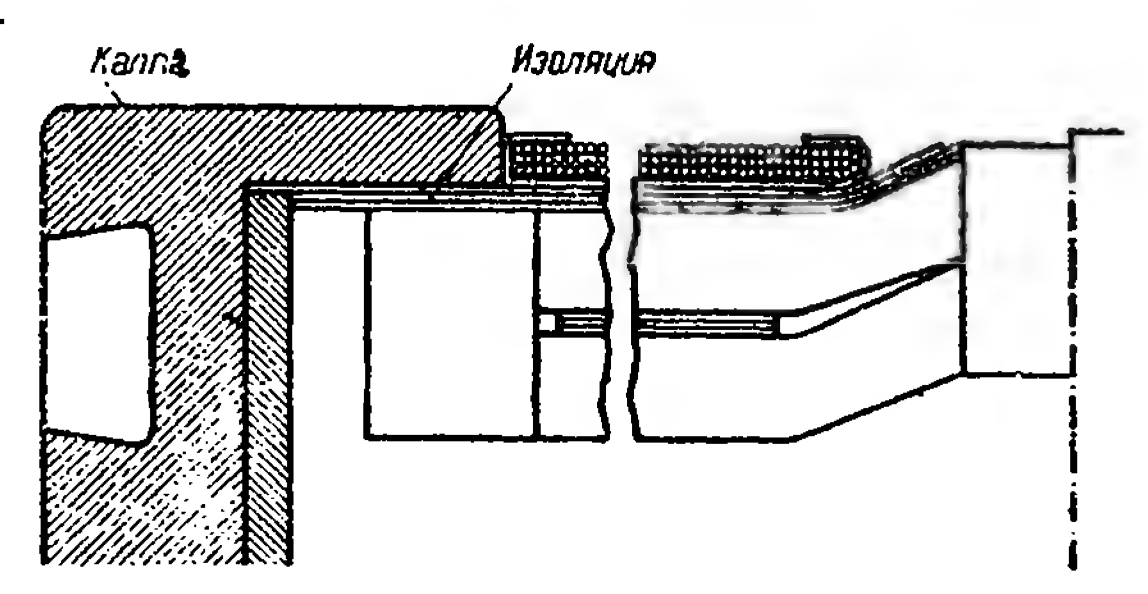


Рис. 358. Бандажи на лобовых частях.

Бандажи выполняются из антимагнитной проволоки как сплошными, так и разделенными, они показаны на рис. 358. После наложения

бандажей ротор испытывается на корпус и витковое и поступает в печь для просушки и пропитки.

В. Надевание капп

Кроме проволочных бандажей на лобовых частях, на концы стержней роторов машин средней и большой мощности надеваются металлические каппы. Для посадки капп после просушки и пропитки обмотки ротору дают остыть, затем с обеих сторон его на лобовые части в местах, указанных на рис. 358, производят наложение изоляции под каппы.

Изоляция выполняется из миканита, толщиной 0,8 *мм*. Из него нарезают требуемое количество пластин соответствующей ширины, имеющих длину, равную приблизительно 100 *мм* с припуском +10 *мм*. Миканитовые пластины разогревают и в горячем состоянии укладывают на место. Пластины укладываются чешуйчатообразно, т. е. одна пластина частью перекрывает другую. Для удержания пластин в таком положении по всей окружности на них надевается стальной хомут из ленточной стали, с концами, стягиваемыми болтом. Над хомутом по всей его поверхности устанавливается газовая горелка (трубка с отверстиями, обращенными к хомуту), с помощью которой ведут подогрев пластин газом. В процессе подогрева хомут все время стягивают болтами. Таким образом миканит выпекается, т. е. удаляется влага из шеллака, и одновременно спрессовывается чешуйчатая изоляция под каппу.

После того как выпечка миканита будет окончена и хомутам дадут остыть, их снимают с обеих сторон. Ротор отправляют в токарные цехи, где миканитовая изоляция обтачивается до надлежащего размера. После проточки изоляции надевают каппы. Перед надеванием бандажные каппы подогреваются, от этого они увеличиваются в диаметре и легко садятся на место.

Охлаждаясь, каппы прочно охватывают лобовую часть. Затем на вал ротора надевают контактные кольца. К контактным кольцам присоединяются выводные концы фаз ротора.

7. ПАЙКА ОБМОТКИ ЯКОРЕЙ И РОТОРОВ

Пайка соединений концов обмотки якоря и ротора является весьма важной и ответственной операцией.

Пайка должна быть выполнена чисто и тщательно, т. е. поверхности мест соприкосновения должны быть пролужены и совершенно чисты. Только при соблюдении указанных условий можно получить удовлетворительную пайку.

Плохая пайка вызывает увеличение сопротивления в плохо припаянном месте, а следовательно и нагрев его. В некоторых случаях нагрев может быть столь сильным, что олово расплавится и вызовет разрыв в цепи обмотки якоря во время работы машины.

А. Пайка вручную концов обмотки, входящих в шлиц коллекторных пластин

Для запайки якорь укладывается на стелюгах в наклонном положении, причем сторона коллектора должна быть ниже задней стороны

якоря. Такое положение якоря при пайке предохраняет от наплывов олова между коллекторными пластинами, а также от попадания олова в обмотку.

Место пайки очищается от грязи и пыли. Если на коллекторных пластинах видна медная окись, то она счищается пилой. Предварительно все шлицы с вложенными в них концами обмотки секций промазывают массой, состоящей из раствора канифоли в спирту или бензине, или же посыпают толченой мелкой канифолью и лишь затем приступают к пайке.

Пайка большей частью производится посредством газового паяльника со сменными наконечниками, которые имеют различные формы, показанные на рис. 359. Для пайки употребляется сплав, состоящий из 75% олова и 25% свинца. Паяльник нагревается газом, его наконечник залуживается и накладывается на место пайки, которое нагревается от паяльника. На запаиваемое место подается олово и для лучшего очищения от окиси — канифоль (порошком или массой), как сказано выше.

Место пайки должно быть хорошо прогрето, чтобы олово равномерно протекало во все щели между концами секций обмотки и стенками шлица. При запайке якоря ни в коем случае не должна применяться кислота, а также какие-либо кислотные сплавы.

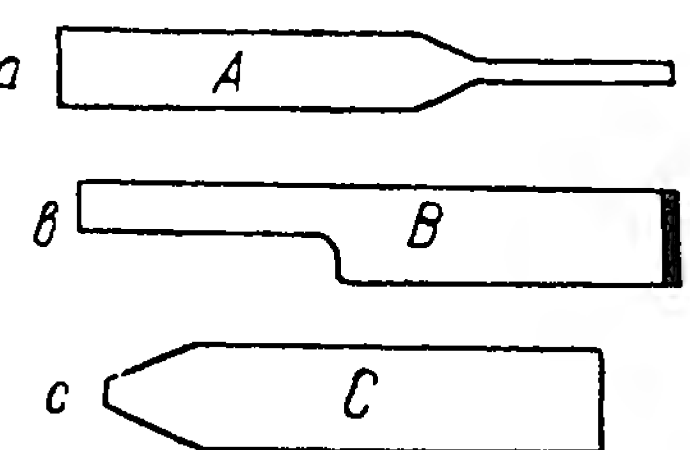


Рис. 359. Наконечники газового паяльника.

В якорях мелких машин запайка концов обмотки в шлицы производится посредством электрического паяльника.

Для безопасности работы с паяльником пользуются низким напряжением — порядка 12 V. Якорь устанавливается в наклонном положении, как и для крупных машин. Во всем остальном пайка должна выполняться, как указано выше.

Б. Пайка вручную концов обмотки в петушках и хомутиках

При пайке концов обмоток в петушках и хомутиках якорь или ротор может быть уложен на стелюгах без наклона, как это было необходимо при пайке концов в шлицах коллекторных пластин. Здесь запайка может производиться сбоку, для того чтобы олово не могло, стекая, попадать в обмотку якоря.

Наконечник паяльника, имеющий вид *A* или *B* (рис. 359), просовывают между петушками или хомутиками (предварительно конец его облуживается оловом) и прогревают место запайки (хомутик или петушок).

Во время подогрева место запайки беспрестанно посыпают толченой канифолью и одновременно с разных сторон подают в избытке олово, чтобы оно, расплавляясь, могло проникнуть всюду. После пайки одного места переставляют наконечник паяльника к следующему, наблюдая при этом степень пайки предыдущего места и по мере надобности добавляя или снимая олово. Сделать это легко сейчас же после пайки, пока температура запаянного места еще высока.

По окончании всех работ, связанных с пайкой, якорь подается на обрезку концов, выступающих за хомутики и ушки, а затем делают общий осмотр, удаляют оставшееся при пайке олово и проверяют качество пайки.

Обрезка концов обмотки как с передней, так и с задней стороны якоря производится на бандажировочном станке посредством циркульной пилы, смонтированной на специальном супорте вместе с электродвигателем. Конструкция станка позволяет передвигать пилу как по горизонтали, так и по вертикали, что удобно для подвода пилы к обрезаемым концам.

В. Пайка концов обмотки роторов и якорей в ванне

Перед пайкой все соединения, т. е. места пайки, промазываются массой, состоящей из раствора канифоли в спирту или в бензине. После этого на ротор надевается специальный хомут и краном он подается на запайку концов обмотки. Пайка производится погружением концов обмотки в ванну с оловом, как указано на рис. 360. Пропаяв одну сторону ротора, его вынимают из ванны, и поворачивая в хомуте, производят аналогично запайку другой стороны обмотки ротора.

Пайка небольших якорей машин постоянного тока на заводе «Электросила» им. С. М. Кирова производится в электрованне следующим образом.

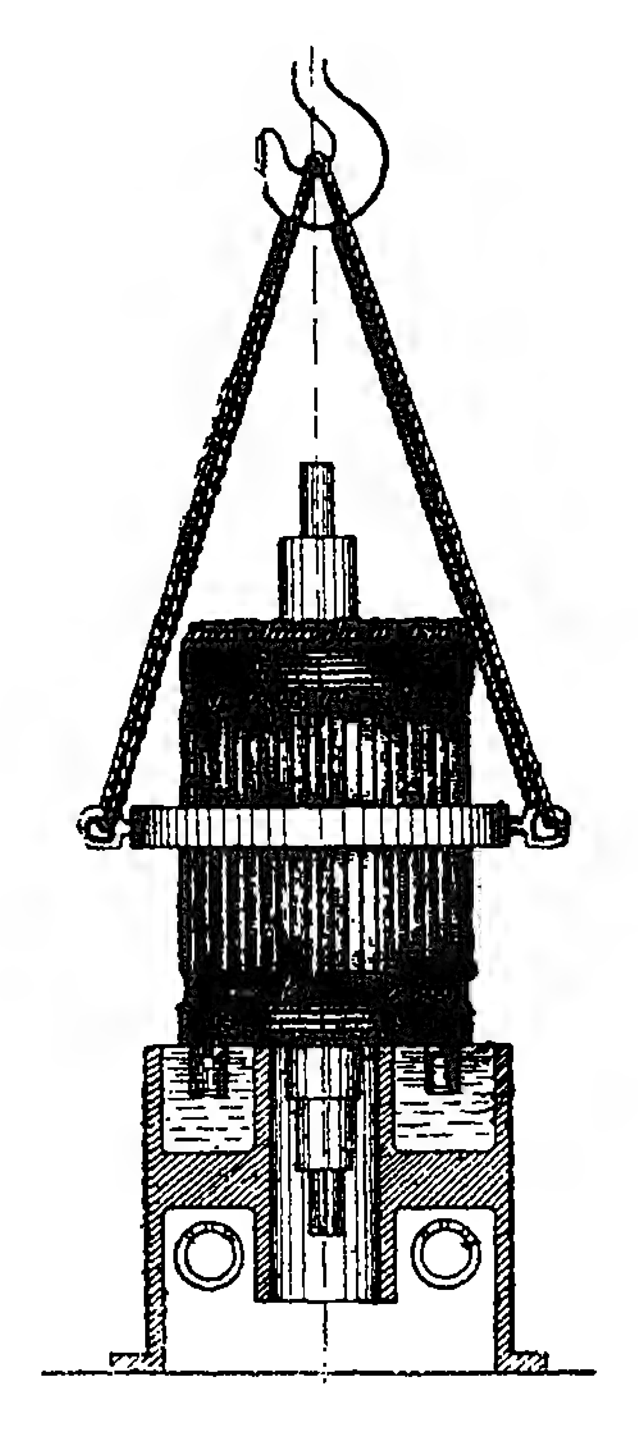


Рис. 360. Пайка концов обмотки ротора в ванне.

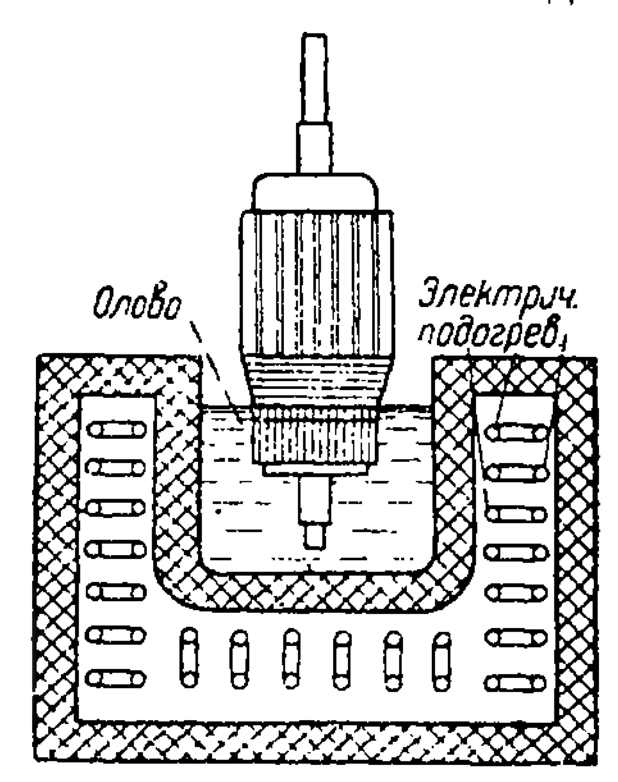


Рис. 361. Пайка концов обмотки якоря.

Перед пайкой конец вала со стороны коллектора, торцовая часть и половина коллектора промазываются кистью раствором гипса, и после этого якорь поступает в сушильный шкаф, для того чтобы гипс просох. Просушка гипса требуется для того, чтобы в момент опускания якоря

в ванну с оловом не произошел взрыв от соприкосновения влаги с расплавленным оловом. Затем промазывают раствором канифоли шлиц (место пайки) и погружают якорь в ванну с оловом до места наложения веревочного бандажа (см. рис. 361). Подержав якорь в ванне очень непродолжительное время, его вынимают и просматривают пропайку.

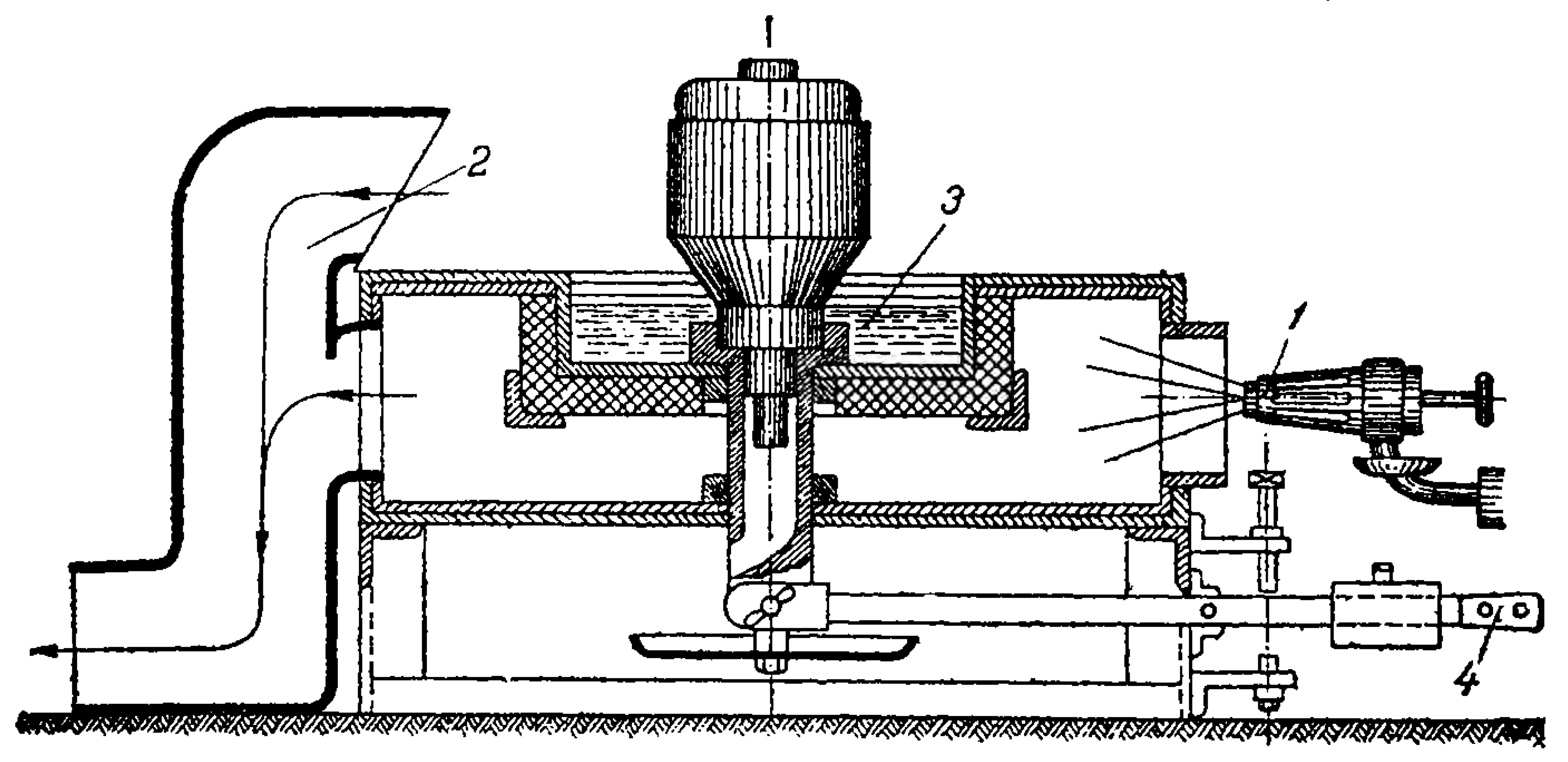


Рис. 362. Ванна для пайки якорей.

При обнаружении мест плохой пайки их вновь промазывают раствором канифоли и добавляют олово от тонкого прутка (это проделывается при еще горячем коллекторе). После того как якорь остынет, конец вала и буксу коллектора протирают от гипса

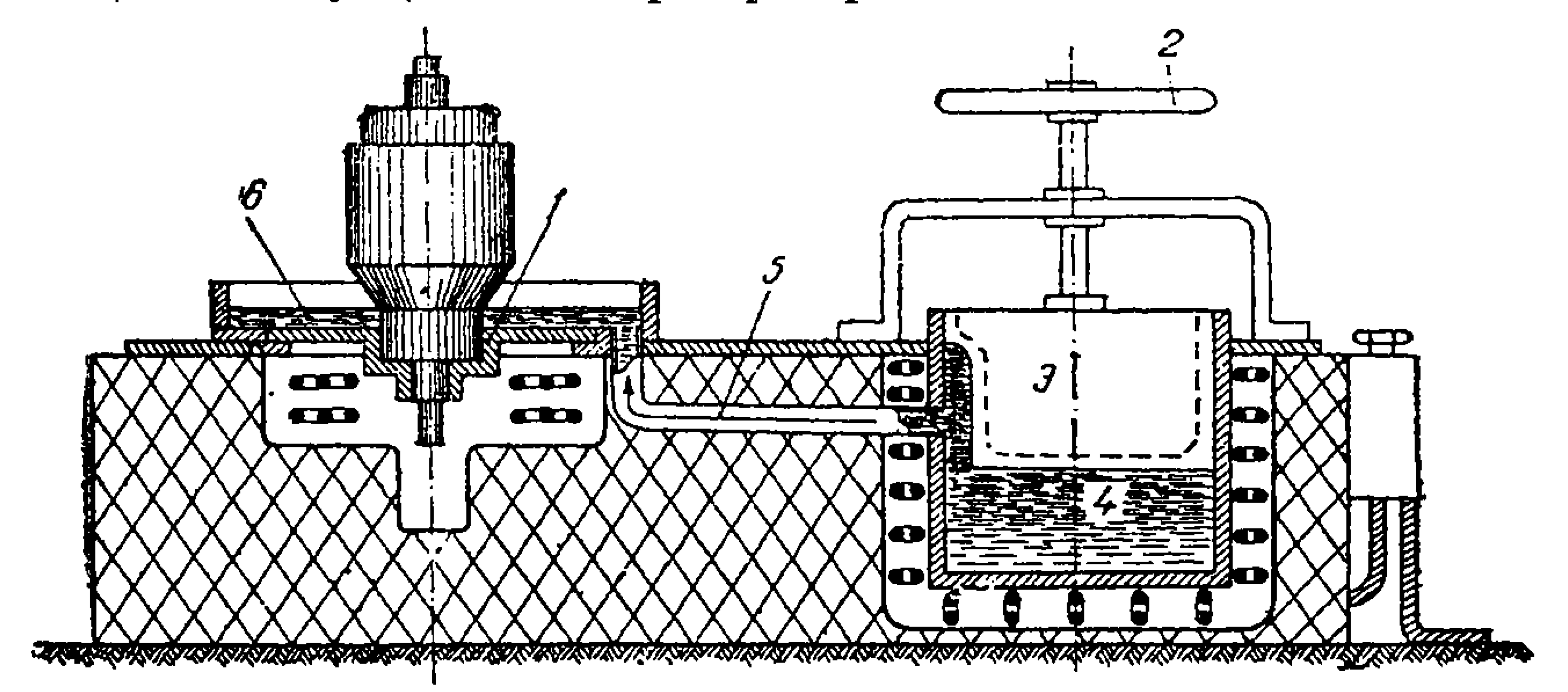


Рис. 363. Электропечь для пайки якорей.

Смазывание раствором гипса конца вала делается для того, чтобы, во-первых, к шлифованной части вала и буксы не пристало олово, во-вторых, для того, чтобы не отпустить или закалить стальной вал.

Этот метод пайки на заводе «Электросила» им. С. М. Кирова дал положительные результаты как в отношении быстроты запайки, так и в отношении качества. Кроме того, такой способ пайки дает экономию олова.

Для пайки якорей машин постоянного тока на ХЭТЗ применяются специальные ванны с оловом (рис. 362). Подогрев олова производится горелкой *1*; горячие газы омывают ванну и уходят в трубу *2*, как показано стрелкой. Предназначенный для пайки якорь устанавливают в приспособление *3*, которое связано с рычагом *4*, служащим для поднятия и опускания приспособления *3* с вставленным в него якорем. Для запайки обмотки в коллекторе якорь рукояткой *4* опускается до соприкосновения с расплавленным оловом.

В последние время на ХЭТЗ изготовлена электропечь для пайки якорей. Вид ее показан на рис. 363. Здесь процесс запайки происходит следующим образом. Якорь вставляется в приспособление *1*; поворотом маховичка *2* приводят в действие поршень *3*, который выдавливает расплавленное олово по трубе *5* в ванну *6*; ванна имеет электрический подогрев. Во всем остальном процесс запайки аналогичен вышеописанному.

Г. Определение качества пайки

Качество пайки определяется тремя способами:

а) внешним осмотром места пайки,

б) измерением переходного сопротивления спаиваемых частей,

в) пропусканием тока по обмотке якоря и наблюдением за степенью нагрева места пайки.

а. Внешний осмотр места пайки

При хорошей пайке ясно наблюдается каемка олова (*2*) вокруг каждого конца шлица или хомутика (рис. 364). Пустоты в месте пайки могут быть вследствие того, что это место было плохо прочищено или олужено или был большой зазор между концом стержня (*1*) и шлицем. В последнем случае надо при пайке закладывать в большие пустоты куски луженой медной проволоки для лучшего охватывания места спая.

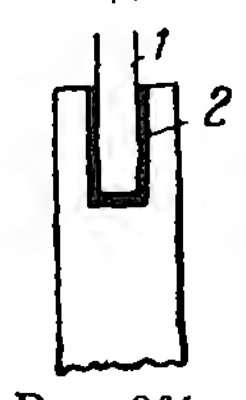


Рис. 364. Правильная запайка концов в шлице.

Во все черновины, замеченные с торца хомутика, или места проточек шлица просовывается тонкая проволока для определения, является ли черновина только наружным дефектом пайки, не ухудшающим ее качества, или это — отверстие, проходящее сквозь хомутик или шлиц. Если нельзя наблюдать непосредственно, то пользуются зеркальцем, которое вставляют между коллектором и железом якоря и рассматривают отражение в нем места пайки. Иногда для проверки качества пайки разрубают одно или два сомнительных места пайки и тщательно их осматривают.

б. Измерение переходного сопротивления

Опишем метод проверки пайки измерением переходного сопротивления. Схема его приведена на рис. 365, где изображена аккумуляторная батарея *5*, напряжением до 12 V; *1* — амперметр системы Депред'Арсонваля с шунтом, на котором можно измерить ток, силой от 0,01 до 10 A; *3* — милливольтметр с добавочным сопротивлением *4*, дающим

возможность измерять напряжение до 0,003 V; *6* — щупы особой конструкции (рис. 366), дающей возможность получить разрыв тока внутри щупа, а не на концах его, чем предотвращается порча мест соприкосновения щупа с коллекторными пластинами. Вся схема с приборами смонтирована на деревянном столике, который можно переносить к тому месту, где находится якорь.

Определение качества пайки посредством описанной схемы происходит следующим образом: включают рубильник *7*, а щупы *6* накладывают концами на две рядом лежащие коллекторные пластины и нажимают их, замыкая тем самым цепь тока; при этом включают милливольтметр *3*. Сила тока с помощью реостата *2* подбирается такая, чтобы отклонения стрелки милливольтметра легко наблюдались и чтобы при измерении между любыми пластинами сила тока была одинакова с предыдущими значениями. Показания милливольтметра для каждой пары соседних пластин записывают и полученные числовые значения сравнивают друг с другом. При хорошей одинаковой пайке все показания милливольтметра будут одинаковы. Если имеется для какой-либо пары пластин резкое отличие в сторону увеличения показаний, значит в этих местах пайка выполнена неудовлетворительно.

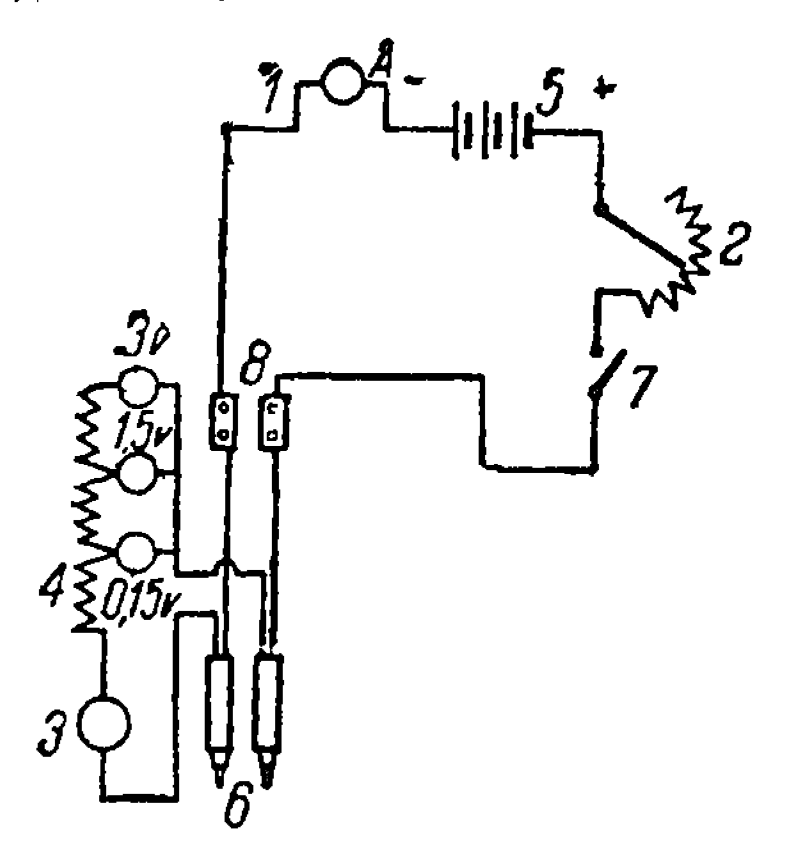
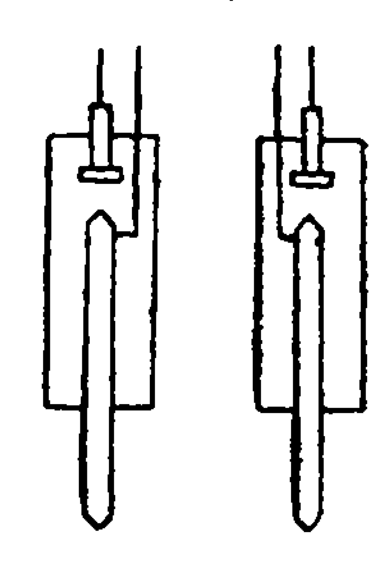


Рис. 365. Схема испытания качества пайки.


Рис. 366. Схема щупов.

в. Нагрев места пайки током

Третий метод определения качества пайки состоит в следующем: на коллекторе на расстоянии коллекторного шага устанавливаются с помощью особых приспособлений угольные или металлические щетки с кабельными отводами, через которые ток подается в коллектор, а следовательно и в обмотку якоря. Сила тока, измеряемая амперметром, должна быть равна нормальной рабочей силе тока якоря данной машины.

Через 10—15 минут после подачи тока все места пайки ощупывают рукой для определения нагрева. Если пайка выполнена хорошо и везде одинаково, то места пайки должны иметь одинаковый нагрев. Места плохой пайки нагреваются сильнее. При дальнейшем пропускании тока места плохой пайки распаиваются, и олово вытекает.

УКЛАДКА КАТУШЕК СТАТОРНОЙ ОБМОТКИ

1. УКЛАДКА КАТУШЕК ОДНОСЛОЙНОЙ ОБМОТКИ КРУПНЫХ МАШИН

В настоящей главе описан процесс укладки катушек однослойной обмотки в пазы статора. Изоляция катушек заранее выполнена, поэтому в пазы при укладке вставляются только так называемые проходные коробки, назначение которых — защитить изоляцию пазовой части от механических повреждений при неровностях в пазах. В качестве примера рассмотрена вкладка шаблонной обмотки 36-полюсной машины, схема которой дана на рис. 367.

При укладке катушек двухслойной обмотки, изолированной по методу непрерывной изоляции, проходные коробки не ставятся. Перед укладкой катушек обмотки необходимо тщательно проверить состояние пазов статора для выявления возможных дефектов — выступов отдельных листов железа, заусенцев — и присутствия посторонних предметов. Дефекты должны быть устранены, а посторонние предметы должны быть сметены щеткой или удалены струей сжатого воздуха; пазы статора прокрашиваются лаком.

Затем в пазы вкладываются указанные выше проходные коробки, которые ставятся различной толщины в зависимости от ширины паза. Материалом для проходных коробок обычно служит прессшпан, толщиной 0,1—0,3 *мм*. Длина проходной коробки должна быть равна длине пазовой изоляции катушки. Края коробки должны возвышаться над пазом на 20—30 *мм* для удобства опускания катушек в паз. Первыми укладываются ниж-

Рис. 367. Схема обмотки.

ние отложные катушки, причем сначала следует вложить самую большую катушку для возможности укладки остальных катушек. Укладку выполняют двое рабочих.

Сперва одну из сторон вкладываемой катушки опускают на $^1/_4$ высоты паза. При этом вторая сторона катушки находится навесу над тем пазом, в котором по шагу она должна быть уложена. Чтобы ее направить в паз, один из рабочих при помощи деревянных вилок (рис. 368), охватывающих пазовую часть катушки у концов опрессовки, делает легкий поворот и направляет сторону катушки в паз. Второй рабочий в это время накладывает деревянный или фибровый клин по верху гильзы и наносит по нему легкие удары ручником, передвигая клин вдоль пазовой части и осаживая сторону катушки также на $^1/_4$ высоты паза.

После этого одновременно и равномерно при помощи клина и ручника рабочие осаживают обе стороны катушки на дно паза. Длина клина должна быть равна пазовой части катушки, а ширина его равна ширине опрессовки.

Таким способом укладываются все катушки в соответствующие пазы статора. Уложенные катушки должны лежать в пазах симметрично, т. е. вылеты лобовых сторон должны быть одинаковы как с одной, так и с другой стороны статора.

После укладки всех отложных катушек обрезаются проходные коробки по высоте с таким расчетом, чтобы оставшиеся стороны могли перекрыть одна другую. Оставшиеся концы коробки загибаются внутрь паза

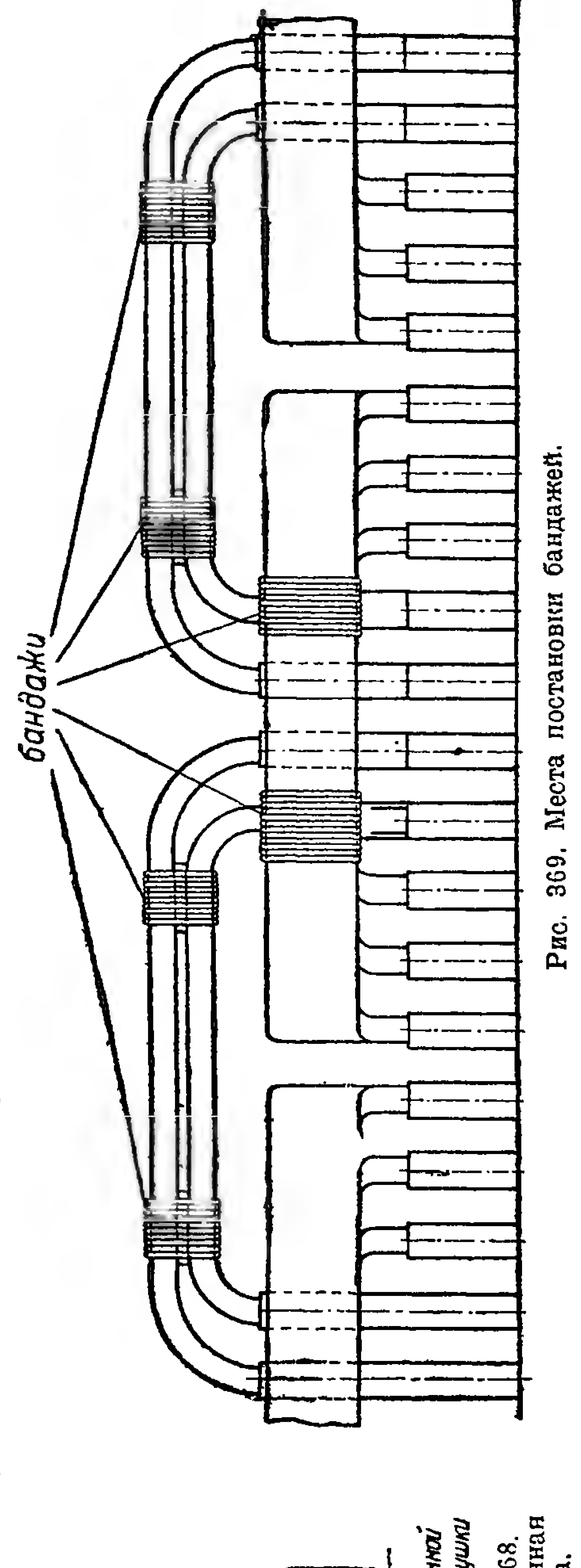


Рис. 369. Места постановки бандажей.

Ширина опрессованной части катушки

Рис. 368. Деревянная вилка.

один на другой и ударами молотка по клину, лежащему на этих концах, прижимаются к опрессовке.

Затем приступают к заклинке пазов буковыми клиньями. Клинья должны плотно сидеть в ласточкином хвосте паза, плотно прилегая своей нижней стороной к изоляции катушки и не выступая из пазов выше железа статора. В тех случаях, когда клин неплотно прижимает обмотку ко дну паза, под него подкладывается прессшпановая прокладка такой толщины, чтобы при забитом клине обмотка не могла быть сдвинута с места.

После забивки клиньев производится соединение катушки в катушечные группы. Концы катушек зачищаются и пролуживаются оловом при помощи электрического паяльника, затем выгибаются, при помощи скобочек соединяются между собой и запаиваются оловом. Место пайки очищается от острых наплывов олова и изолируется сперва хлопчатобумажной лентой, а поверх нее два раза в три четверти нахлестки лакированной лентой, на которую накладывается хлопчатобумажная лента один раз в полнахлестки.

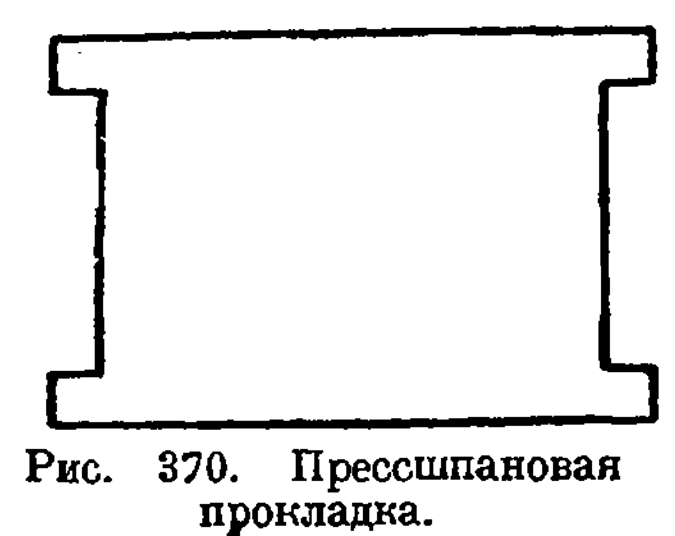


Рис. 370. Прессшпановая прокладка.

Для скрепления катушек на них в местах, указанных на рис. 369, наматываются бандажи из английского шнура, толщина которого берется от 2 до 5 *мм* в зависимости от размеров катушек. В месте намотки бандажа между катушками ставятся прессшпановые прокладки, толщиной от 2 до 5 *мм*. Прокладки эти показаны на рис. 370. Бандажи ставятся ближе к изгибу лобовых частей, как указано на рис. 369.

Изолированные выходные части (начало и конец) катушечных групп подводятся под бандажи и закрепляются ими.

Процесс вкладки верхних прямых' катушек аналогичен вкладке нижних отложных с той лишь разницей, что вначале в паз вкладывается не самая большая катушка, как это было при вкладке нижних катушек, а самая малая.

Размеры вылетов лобовых частей выдерживаются также одинаковыми для каждой стороны.

После укладки обмотка испытывается на витковое и на корпус.

2. УКЛАДКА КАТУШЕК РАЗРЕЗНОЙ ОБМОТКИ

Рассмотрим укладку катушек разрезной обмотки статора, имеющего закрытые пазы. Катушки вкладываются в пазы статора разрезанной частью с одного торца статора и затем проводники запаиваются на другом его торце. Изоляция пазовой части выполнена из миканита, опрессованного в горячем состоянии. Лобовая часть каждой катушки выполняется по типу нижних отложных катушек. Разрезные концы катушек после укладки загибаются на другой стороне статора по типу верхних катушек.

Разрезная обмотка иногда выполняется с запайкой проводников и их укладкой на второй стороне по типу нижних отложных катушек.

Следовательно в такой обмотке лобовые части с обеих сторон статора после обмотки представляют собою нижние отложные катушки. Перед тем как вставить катушки в пазы статора, необходимо разрезанную ее часть отрихтовать, т. е. выпрямить.

Выпрямленные концы катушки временно изолируются хлопчатобумажной лентой вразбег. Гильзу катушки (пазовую часть) натирают парафином для лучшего прохождения ее через пазы. Временная изолировка выпрямленных концов лентой делается для этой же цели.

В качестве примера рассмотрим укладку обмотки с числом пазов на полюс и фазу $q = 3$.

Вставка катушек производится следующим образом: берется первая самая малая катушка и одной своей частью вставляется в первый паз, а второй — в восьмой паз, а затем равномерно вталкивается в паз на $^1/_3$ своей длины; то же самое делается и со 2-й и 3-й катушками катушечной группы. Это необходимо сделать для того, чтобы было удобнее соединить катушки в катушечные группы, так как переход из 1-й катушки во 2-ю делается сзади отложной лобовой части. Соединение катушек делается таким же образом, как описано в предыдущем параграфе, т. е. конец 1-й катушки соединяется с началом 2-й и конец 2-й — с началом 3-й.

Все катушки вставляются в статор со стороны *П*, а соединения выполняются на стороне *К*.

Начало и конец каждой катушки изолируются у выхода из пазовой части на такую длину, чтобы изоляция попала под бандаж катушечной группы.

Изолировка выводных концов, а равно и переходов между катушками, выполняется в зависимости от рабочего напряжения машины; так, для статоров с напряжением:

3000 V	делается	3	оборота	лакоткани	в	полнахлестки
6000 V	»	5	оборотов	»	»	»
6600 V	»	6	»	»	»	»

Поверх лакоткани накладывается хлопчатобумажная лента в полнахлестки.

Здесь, так же как и для обмотки, состоящей из целых катушек (предыдущий параграф), ставятся прокладки в лобовой части между отдельными катушками и накладываются бандажи с подводом под них выводных концов.

После наложения бандажей катушка ставится на место, т. е. устанавливается на определенное расстояние от железа, зависящее от рабочего напряжения статора.

Осаживание (вталкивание) катушки в пазы производится ручником и деревянным клином. Затем производят заклинку вставленных катушек деревянными клиньями. Обычно клинья для разрезной обмотки делаются составными, состоящими из двух частей; они забиваются в пазы с двух сторон железа статора.

Укрепив катушки клиньями, статор переворачивают краном и устанавливают стороной *К* кверху.

После вкладки и заклинки катушек необходимо испытать всю обмотку на корпус, а затем производить соединение витков катушек.

По окончании испытания статор ставят в вертикальном положении на специальные деревянные или чугунные подставки стороной К кверху и опять приступают к соединению витков катушек друг с другом.

Для соединения витков применяют железные закладки и деревянные доски. Первая малая катушка изгибается на деревянной доске. Железные закладки и доска имеют вид, показанный на рис. 371, концы их имеют закругление соответственно лобовым частям 2-й и 3-й катушек. Так как каждая катушечная группа состоит из 3-х катушек, длина лобовых частей которых неодинакова, то и железные прокладки должны быть различной длины соответственно длинам лобовой части каждой катушки.

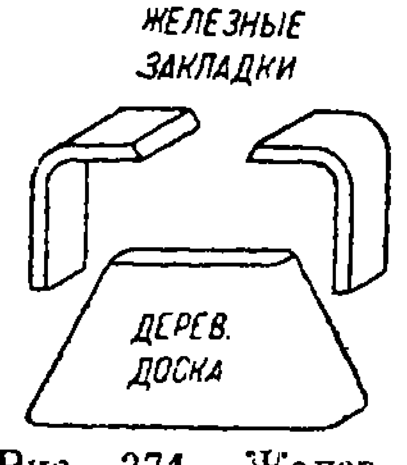
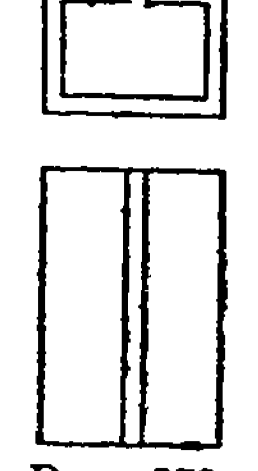


Рис. 371. Железные закладки.

Доски делаются таких размеров, чтобы толщина их равнялась расстоянию между лобовыми частями нижних катушек и верхних. Ширина доски делается с таким расчетом, чтобы стороны ее упирались во внутренние стороны миканитовой опрессовки первой катушки.

Загиб и запайка разрезных витков начинается с нижних витков первой катушки, при этом следует учесть и расположить первый нижний виток так, чтобы последний укладываемый виток катушки не был выше железа статора.

Один из рабочих плоскогубцами загибает первый проводник слева и второй проводник справа на деревянную доску, и, установив должную длину каждого, откусывает острогубцами концы их, причем концы витков располагаются встык в шахматном порядке так, чтобы места соединений были размещены равномерно по всей длине лобовой части обмотки. Затем рабочий переходит к первой катушке другой катушечной группы, потом к третьей и т. д., где проделывает то же самое. Вслед за ним второй рабочий снимает с концов изоляцию, зачищает их бензином и наждачной бумагой и надевает на стык двух концов скобку из жести (рис. 372) прямоугольного сечения (разрезные обмотки делаются из меди прямоугольного сечения). Этот рабочий, передвигаясь за первым, проделывает эти же операции и с последующими катушками.


Рис. 372. Жестяная скобка.

Вслед за вторым рабочим третий рабочий электрическим паяльником запаивает во всех катушках оловом скобку с вложенными в нее концами проводников.

Четвертый рабочий зачищает пайку от наплывов олова и изолирует запаянный виток лакотканью, толщиной 0,2 *мм*, в полнахлестки. Чтобы не увеличить размеров катушек, места соединений витков располагают, как мы уже упоминали, в шахматном порядке, т. е. пайки витков смещаются, как это показано на рис. 373.

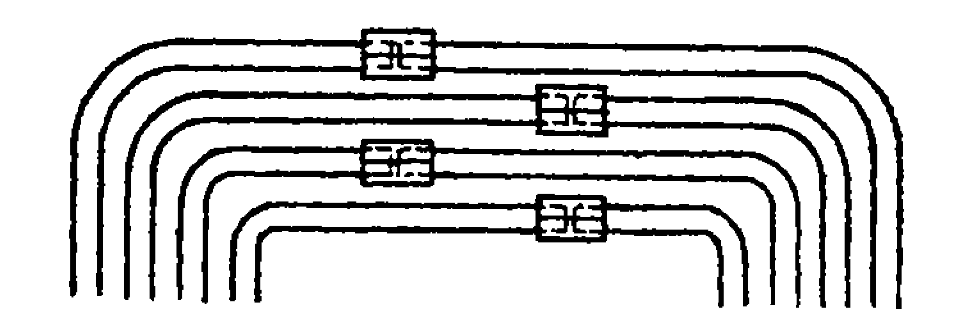
Как было указано выше, изгиб проводников производится при помощи плоскогубцев. Губки плоскогубцев не должны иметь нарезов, а должны быть гладкими, чтобы не портить изоляции витков.

Правильный изгиб проводников обеспечивает хорошее качество катушки. При неправильном загибе может получиться, что проводники

при выходе из опрессовки будут иметь кривизну, и катушка в указанном месте может быть выше железа, что заставит перемотать ее вновь.

После того как будет соединена вся катушка, накладывают на витки общую изоляцию. Сначала стягивают витки хлопчатобумажной лентой вразбег и придают им надлежащую форму. Лобовые части витков подколачивают деревянным молотком сверху и с боков, после чего их промазывают шеллачным лаком. Далее деревянные доски вынимают и лобовую часть изолируют лакотканью, толщиной 0,2 *мм*, в полнахлестки на прямой части и в три четверти нахлестки в местах изгибов. Такая изоляция предусматривается для машины с рабочим напряжением в 3000 V. При рабочем напряжении машин в 6000 V изолировка производится лакотканью в два слоя.

Для того чтобы быть уверенным в качестве выполнения катушек до окончательного соединения их в катушечные группы, вполне целесообразно, как это делается на заводе «Электросила» им. С. М. Кирова, испытывать на витковое каждую катушку отдельно после соединения ее витков. Это во-время предупреждает брак обмотки.


Рис. 373. Расположение паек разрезной обмотки.

После испытания на витковое первой катушки приступают к соединению концов второй катушки. Для этого ставятся железные закладки между уложенными витками первой катушки и незагнутыми концами. Для того чтобы железные закладки плотно сидели на своих местах, вставляют деревянные клинья между прямой частью закладки и миканитовой опрессовкой первой катушки с двух сторон. Загиб витков производятся таким же образом, как у первой катушки, и также производятся изоляция и испытание на витковое.

После загиба запайки, изолировки витков и наложения на витки катушки общей изоляции, между ними ставятся прессшпановые прокладки ближе к закругленным частям, на которые наматываются бандажи из английского шнура, толщиной 2 *мм*, — по ширине вырезанных частей прессшпановых прокладок (рис. 369). Поставленный бандаж для лучшего скрепления смазывается шеллачным лаком. Забандажированные катушки целиком испытываются на витковое.

После испытаний статор переворачивается и стороной *К* устанавливается кверху.

Выводные концы катушки загибаются и изолируются от начала выхода из гильзы тремя или шестью слоями лакоткани (в зависимости от напряжения), толщиною 0,2 *мм*, в полнахлестки и поверх хлопчатобумажной лентой.

Установка досок и железных закладок производится так же, как и при соединении витков со стороны *П*.

Загиб витков катушки производится следующим образом: первый проводник слева соединяется со вторым проводником справа, остающийся последний проводник слева изолируется двумя слоями лакоткани в полнахлестки и хлопчатобумажной лентой в полнахлестки.

Этот конец идет на соединение с началом второй катушки, находящимся справа.

Соединенные катушки также испытываются на витковое. Изолированные выходные концы катушек закрепляются под бандажами, один под правый бандаж и второй под левый.

Выводные концы катушек соединяются скобами встык, пропаиваются оловом и изолируются лакотканью и лентой, как указано выше.

Во избежание междуфазного соединения как верхние, так и нижние катушки отделяются друг от друга гэтинаксовыми (бакелитовыми) прокладками. Эти прокладки ставятся в упор к железу статора. Прокладки закрепляются хлопчатобумажной лентой, которая обертывается вокруг катушек смежных фаз.

Затем приступают к производству соединений катушек в катушечные группы.

3. УКЛАДКА КАТУШЕК ДВУХСЛОЙНОЙ ОБМОТКИ МЕЛКИХ МАШИН

Изоляция паза низковольтных машин с двухслойной обмоткой состоит из прессшпана, толщиной 0,2 *мм*, лакоткани, толщиной 0,2 *мм*, проходной коробочки из прессшпана 0,1 *мм* и прокладки между слоями из прессшпана, толщиной 0,3 *мм*.

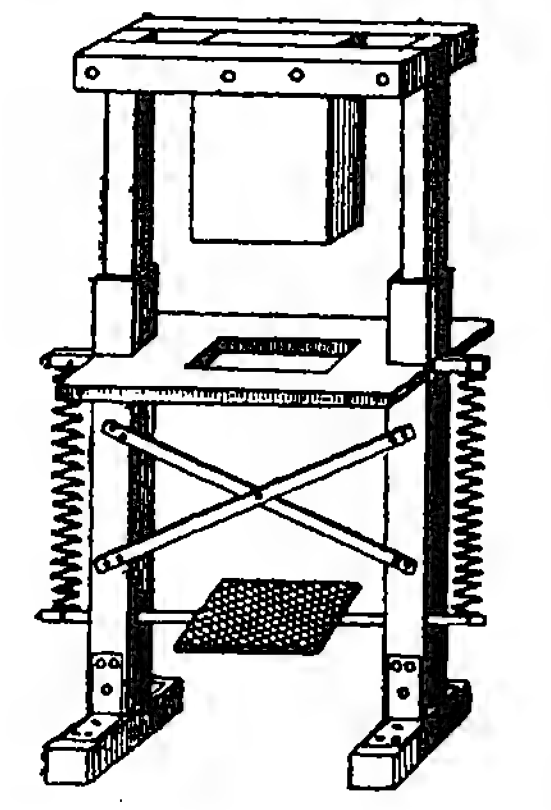


Рис. 374. Штамповочное приспособление.

Проходные коробочки изготовляются на штамповочном приспособлении, указанном на рис. 374. Нарезанный по определенным размерам прессшпан укладывается между планками; наступая на педаль ногой, производят нажатие клином на листок прессшпана, продавливая его через две планки, в результате чего прессшпан выгибается в виде коробочки.

Нарезанные межфазовые прокладки сгибаются следующим образом. Прокладки проглаживаются на деревянном шаблоне *1* деревянной вилкой *2* (рис. 375), после чего они принимают

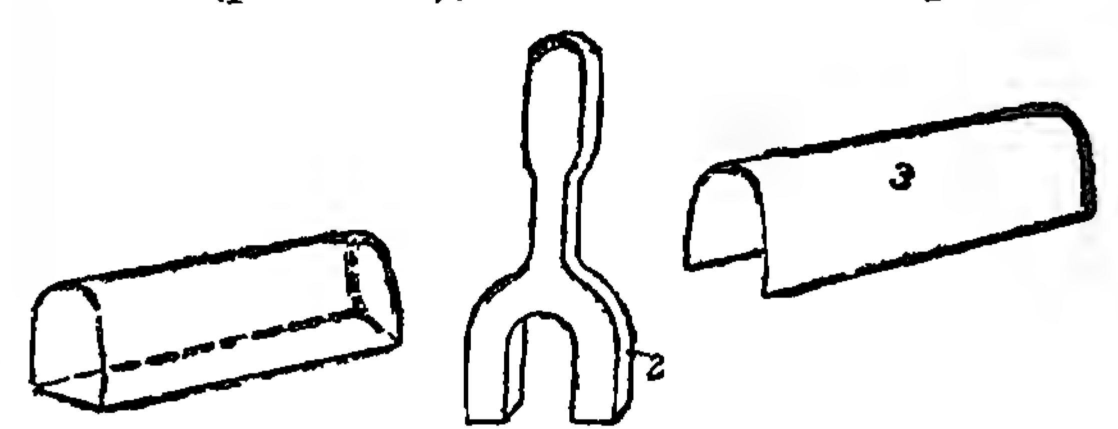


Рис. 375. Шаблон для изгиба прокладок.

форму *3*. Лакоткань перед нарезкой из рулона вначале складывается наискось и уже после этого нарезается на ножницах. Это делается для того, чтобы лакоткань могла вытягиваться и тем самым не могла рваться.

Перед укладкой пазовой изоляции необходимо тщательно проверить состояние пазов статора для выявления возможных дефектов:

выступов отдельных листов железа и заусенцев; кроме этого необходимо убедиться в отсутствии в пазах посторонних предметов. Дефекты должны быть устранены и посторонние предметы должны быть выметены щеткой или струей сжатого воздуха, после этого в пазы статора вкладывают пазовую изоляцию, состоящую из прессшпана с лакотканью. Толщину прессшпана берут 0,20—25 *мм*, а лакоткань той же толщины. При этом длина лакоткани должна быть нарезана длиннее прессшпана на 15—30 *мм* для того, чтобы по выходе из паза проводников иметь достаточно прочную изоляцию, так как края железа самое уязвимое место в отношении пробоя на корпус. Лакоткань огибает прессшпан, как указано на рис. 376.

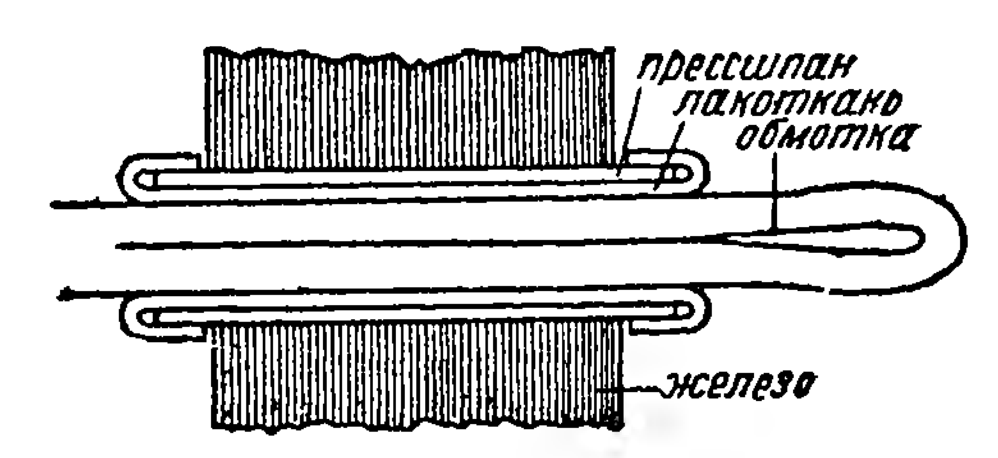


Рис. 376. Расположение пазовой изоляции

В качестве примера рассмотрим процесс вкладки обмотки, заготовку которой мы описали выше. Схема обмотки дана на рис. 295. Статор устанавливается на специальную подставку, и в пазы статора, помимо вложенной ранее изоляции, вставляются проходные коробочки из прессшпана. Три фазы предварительно намотанной обмотки находятся на столе вкладчицы с правой стороны, причем катушки фаз *I* и *III* лежат одна на другой в порядке намотки их на станке, т. е. сверху лежит 1-я катушка, под ней 2-й, 3-я, 4-я и т. д.; порядок же расположения катушек фазы *II* обратный, т. е. сверху лежит 6-я катушка, под ней 5-я, 4-я и т. д. Такое предварительное размещение катушек соответствует последовательности их укладки в статор.

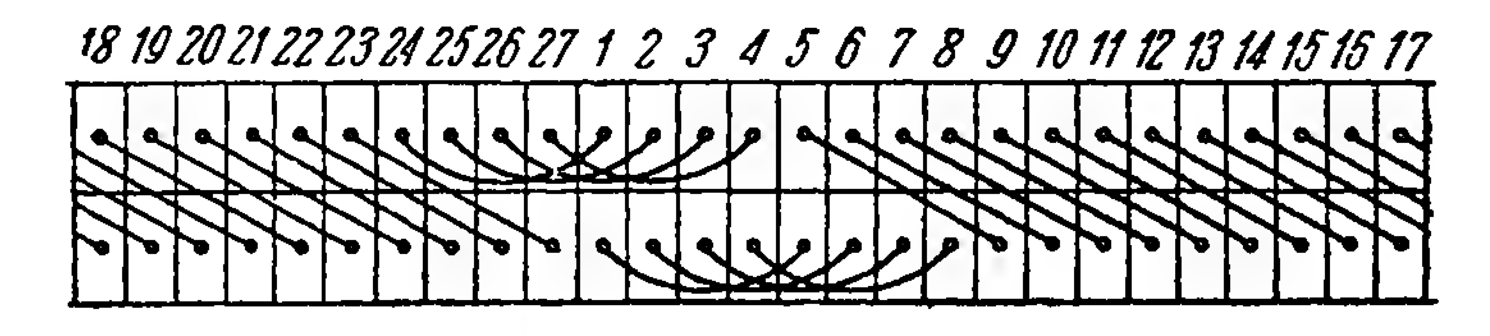


Рис. 377. Торцовая схема обмотки.

Рассмотрим последовательность вкладки катушек обмотки. Начнем с укладки ее в первый паз. Сначала укладывается катушечная группа фазы *I*, состоящая из двух катушек. Левые стороны этой катушечной группы вкладываются в пазы *1* и *2*, а правые — в пазы *5* и *6*. Стороны этих катушек осаживаются на дно паза; затем берется 6-я катушечная группа фазы *II*, состоящая из одной катушки, и укладывается на дно пазов *3* и *7*, причем для получения соответствующего направления тока в обмотке эти катушки поворачиваются так, чтобы в статоре они лежали рядом своими одинаковыми сторонами. Затем укладывается первая катушечная группа фазы *III*, состоящая из двух катушек. 1-я катушка этой группы укладывается на дно пазов *4* и *8*, правая сторона 2-й катушки укладывается на дно паза *9*, левая ее сто-

рона — вверх паза *5*, внизу которого уже имеется сторона катушки фазы *I*. Таким образом оказалось уложенным в статор по одной катушечной группе каждой фазы. Концы их являются выводными концами обмотки. При пояснении последовательности вкладки обмотки мы условно фазы пронумеровали в порядке их укладки в статор; названная нами фазой *II* на схеме (рис. 295) является в действительности фазой *III*, а фаза *III* — фазой *II*.

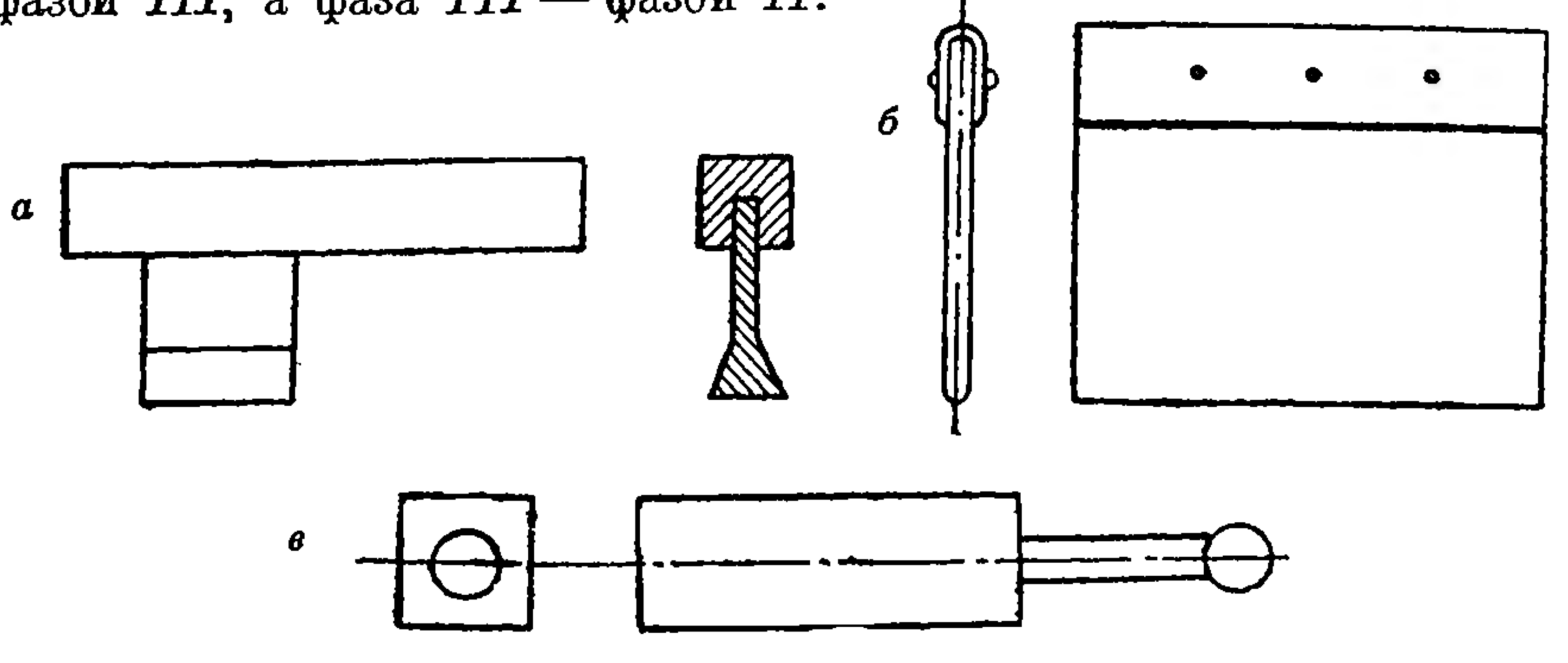


Рис. 378.
а) Топорик. *б)* Фибровая пластина. *в)* Металлический молоток.

Делая последовательную вкладку всей катушек, согласно торцовой схеме (рис. 377), мы увидим, что обе стороны четырех катушек обмотки смогут быть уложены только в верхнем слое пазов. Таким образом эта обмотка будет иметь четыре первых катушки, уложенные целиком на дно пазов, и четыре последних — уложенные целиком в верхней части пазов, в противоположность нормальному выполнению двухслойных обмоток, где стороны каждой катушки располагаются как на дне, так и вверху паза. Описанный нами способ укладки обмотки (способ инж. Шорхова) при массовом производстве имеет преимущества, так как ускоряется процесс обмотки.

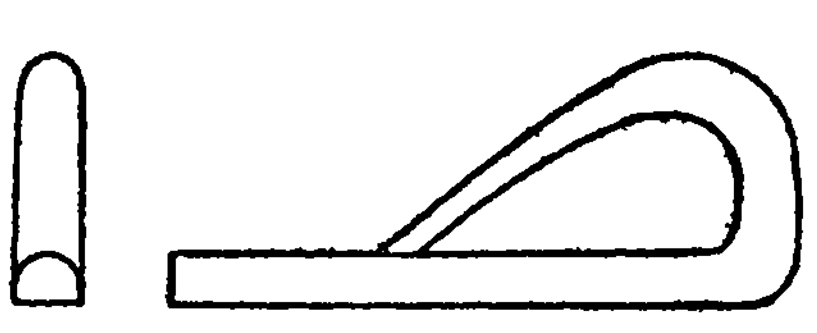


Рис. 379. Обратный клин.

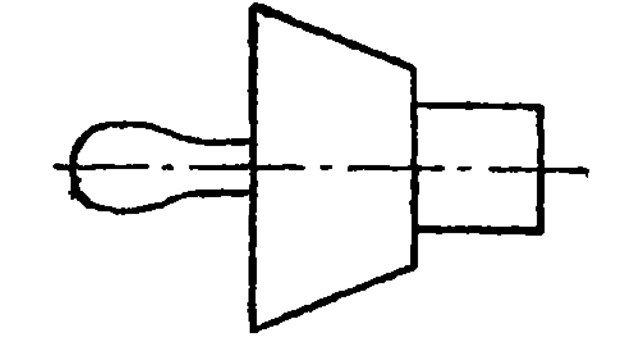


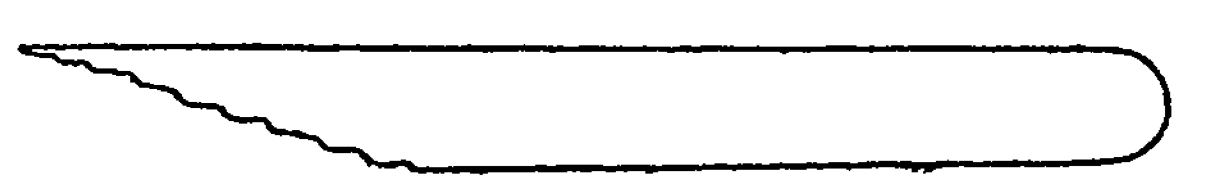
Рис. 380. Деревянная оправка.

Рассмотрев последовательность укладки катушек обмотки, перейдем к более подробному описанию самого технологического процесса.

После вкладки четырех первых катушек они осаживаются плотно на дно пазов осаживающим клином («топорик», см. рис. 378, *а*). Поверх уложенных катушек укладывают в пазы междуслойные прокладки из летероида или прессшпана. 5-я катушка, как мы указали выше, укладывается правой стороной на дно 9-го паза, а левой стороной в верхнюю часть 5-го паза, при этом витки этой стороны секции вкла-

дываются в паз поочередно для более правильной укладки; для этой цели пользуются фибровой пластинкой (рис. 378, б), которой витки и осаживаются в паз. Так как 5-й паз заполнен целиком, то коробочки обрезаются и загибаются в пазу вперекрой этой же фибровой пластинкой; после этого обмотку в этом пазу осаживают клином — топориком, по которому ударяют внутренним обмоточным металлическим молотком (рис. 378, в). После осадки обмотки в этот паз вставляют металлический обратный клин («собачка», см. рис. 379) и с противоположной стороны забивают основной деревянный клин в паз, который плотно поджимает обмотку. Затем в лобовых частях с обеих сторон устанавливаются междуфазные прокладки из лакоткани в один слой. Аналогично изложенному укладываются все остальные катушки.

Вложив всю обмотку в пазы статора, со стороны, противоположной выходным концам, с помощью иглы и шпагата бандажируют лобовую часть. Затем в статор вставляют деревянную оправку («колотушку», см. рис. 380), на которую ложатся лобовые части обмотки, и фибровым клином околачивают обмотку, придавая ей определенный размер. То же самое делается и с противоположной стороны; при этом обрезаются ножницами излишне выступающие концы междуфазовых прокладок. Если вставленный пазовый клин (постоянный) треснул или слабо держится в пазу, то с помощью железного гребешка (рис. 381) его выбивают из паза и заменяют соответствующим новым клином.


Рис. 381. Железный гребешок.

После осаживания и бандажировки стороны, противоположной выводным концам, статор поступает на испытание на корпус и витковое.

После этих испытаний статор поступает на изолировку переходов (петель и присоединения выводных концов). Для присоединения выводных концов последние очищаются ножом от лака и эмали и скручиваются с выводящим проводом, после чего производят сварку. К сварочному приспособлению для безопасности работы подводится напряжение в 12 V от сети через трансформатор. После сварки концы изолируются лакотканью и равномерно располагаются по обеим сторонам в лобовой части обмотки и подвязываются к ним шпагатом или тафтяной лентой.

4. УКЛАДКА КАТУШЕК ДВУХСЛОЙНОЙ ОБМОТКИ С ИЗОЛЯЦИЕЙ ПАЗОВОЙ ЧАСТИ ИЗ МИКАНИТОВОЙ ОПРЕССОВКИ

Для примера возьмем статор с открытыми пазами. Число пазов 96. Шаг равен 10.

Перед началом вкладки пазы статора осматриваются, все дефекты устраняются, и пазы статора прокрашиваются лаком посредством кисти или пульверизатора.

Если пазовая опрессованная часть катушек выполнена без предохранительной бумаги сверху, то при вкладке в пазы статора вставляется прессшпановая или летероидная проходная коробка, служащая защитой опрессовки катушек при опускании их в пазы.

Вкладка катушек производится двумя рабочими, стоящими с обеих сторон статора. Катушки укладываются таким образом, чтобы выводные концы находились на стороне контактных колец в собранной машине.

Будем наблюдать за вкладкой со стороны контактных колец. Вкладку производят следующим образом. Сперва вкладывается в паз правая сторона катушки, и когда пазовая часть ее дойдет до половины паза, по шагу вкладывается ее левая сторона. У первых десяти катушек левые стороны вкладываются не полностью в паз, так как при закладке последних катушек эти стороны придется поднять кверху для того, чтобы правые стороны последних катушек могли лечь на дно паза.

Катушка должна входить в паз без особых усилий после того, как ее левая часть будет опущена в паз на $^1/_4$ высоты опрессовки. Затем рабочий, стоящий в стороне выводных концов, накладывает по длине всей опрессовки деревянную доску и, легко постукивая по ней ручником, осаживает правую сторону катушки на дно паза. Одновременно второй рабочий, стоящий на противоположной стороне статора, также накладывает на опрессовку левой стороны доску и, постукивая по ней ручником, осаживает и эту сторону в паз до положения, когда верх гильз будет на уровне железа.

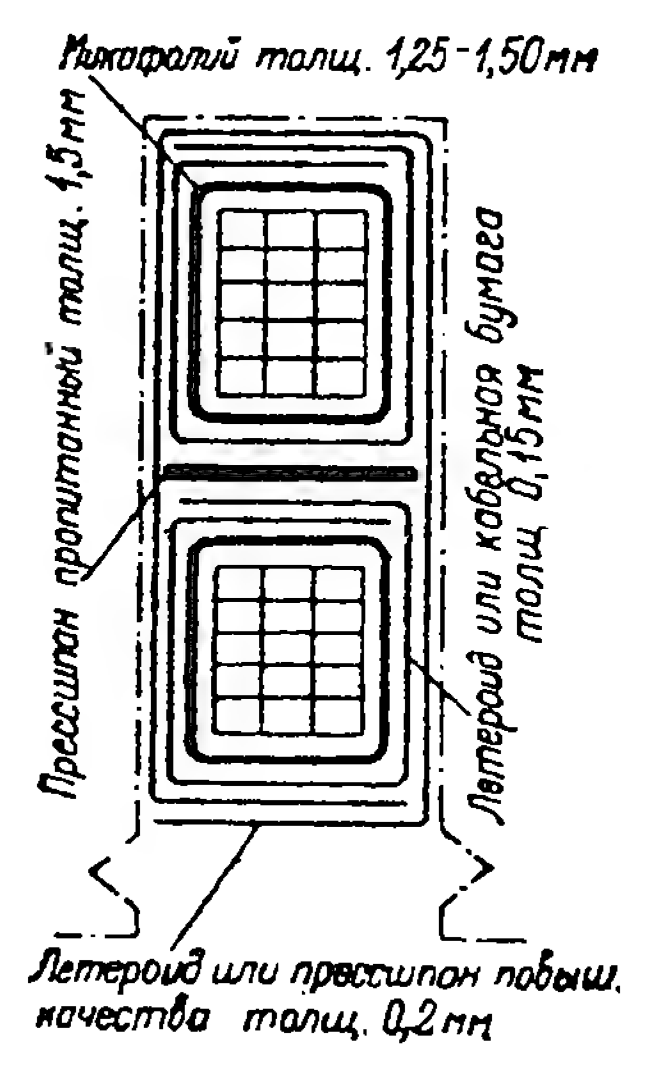


Рис. 382. Разрез паза.

Сказанное относится только к десяти первым катушкам. При вкладке 11-й катушки поступают таким образом.

Поверх нижней стороны 1-й катушки, лежащей на дне 11-го паза, укладывается прессшпановая полоска, толщиной от 0,5 до 2 *мм*, смотря по имеющемуся месту между опрессовкой верхней и нижней сторон секций, лежащих в 11-м пазу. На рис. 382 показан разрез паза с прессшпановой прокладкой между верхней и нижней сторонами катушек.

Правая сторона 11-й катушки также при помощи ручника осаживается на дно 21-го паза одним рабочим. Левая сторона катушки осаживается в 11-й паз, где на дне уже лежит правая сторона первой катушки.

Левая сторона катушки заклинивается деревянными клиньями, забиваемыми в ласточкин хвост паза с той и другой стороны статора. При большой длине железа статора клинья забиваются по два и более с каждой стороны.

При вкладке катушек в пазы необходимо следить за тем, чтобы вылеты их с той и другой стороны были одинаковы. Кроме того, необходимо соблюдать расстояния лобовых частей обмоток от металлических частей статора.

Между нижними и верхними катушками в пазах укладываются указанные прокладки, и таким же путем вкладываются остальные катушки

до последних десяти. На рис. 383 показан статор с двухслойной обмоткой в процессе вкладки.

Для вкладки последних десяти катушек необходимо поднять и укрепить на-весу десять сторон первых неполностью вложенных катушек. Для этого их осторожно вынимают из пазов по одной и, осторожно отгибая внутрь статора, при помощи шпагата или ленты подвязывают к деревянной планке, вставленной и укрепленной внутри статора.

В процессе вкладки двухслойной обмотки самым ответственным моментом является вкладка последних десяти катушек, так как поднимаемые катушки испытывают изгибающие усилия. Здесь необходимы большая аккуратность и осторожность.

Повреждения изоляции в большинстве случаев происходят на этом участке обмотки.

На уложенные правые стороны последних десяти катушек также кладутся прессшпановые прокладки, и поднятые левые стороны пер-

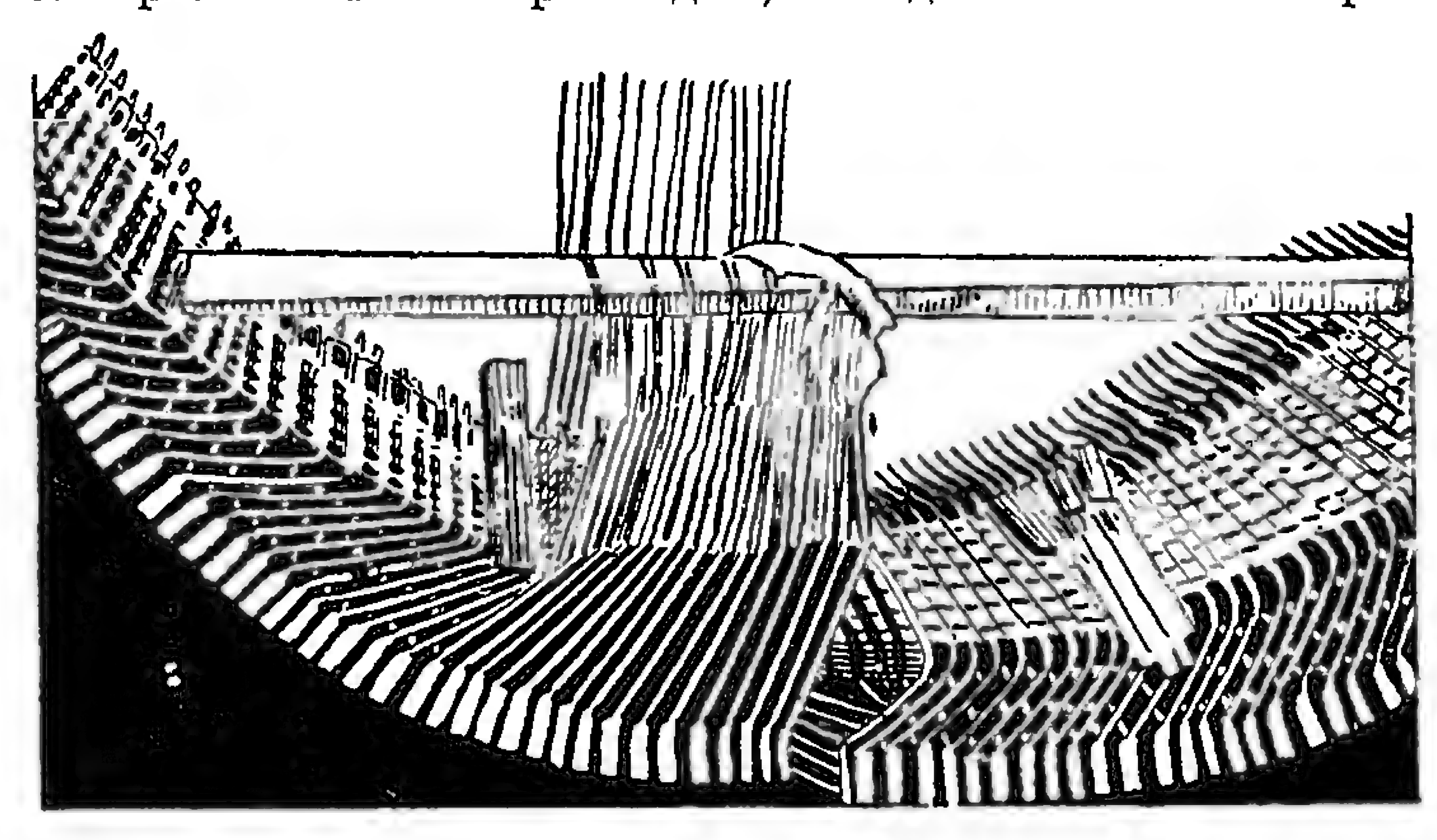


Рис. 383. Статор в процессе вкладки обмотки.

вых десяти катушек опускаются и вкладываются в соответствующие пазы. Уложенные катушки заклиниваются деревянными клиньями. Клинья должны плотно сидеть в ласточкиных хвостах пазов и плотно прижимать обмотку.

После вкладки и заклинки катушек приступают к укреплению лобовой их части (головок) к бандажному кольцу.

Бандажное кольцо представляет собой круглую сплошную трубку, согнутую кольцом. Кольцо имеет различные сечения в зависимости от мощности и габаритов статора. Диаметр его от 13 *мм* и выше. На более крупных статорах прикрепляются лобовые части обмотки к кольцам, изготовленным из железа квадратного сечения и укрепленным болтами к корпусу статора. Кольцо должно быть хорошо изолировано, так как к нему прилегают головки катушек.

Изолировка бандажных колец производится различно — в зависимости от рабочего напряжения машины. Так, например, для напряжения от 525 до 3150 V кольца изолируются тремя слоями лакоткани, толщиной 0,3 *мм*, в полнахлестки и одним слоем киперной ленты. Для

напряжения от 3150 до 6000 V изоляция кольца состоит из трех рядов микаленты, толщиной 0,13 *мм*, четырех рядов лакированной ленты, толщиной 0,2 *мм*, и одного ряда киперной ленты, толщиной 0,3 *мм*. Изолированные кольца покрываются асфальтовым лаком воздушной сушки.

Для машин, работающих в сырых помещениях, бандажные кольца изолируются микалентой. Количество слоев микаленты равно числу слоев лакоткани, как указано выше. Наложенная микалента покрывается асфальтовым лаком и просушивается в печи, после чего изолируется киперной лентой, которая красится асфальтовым лаком.

Кольцо укрепляется возле головок катушек. Между головками катушки и кольцом помещают прессшпановую прокладку, скрепленную шнуром. Количество оборотов шнура делается от 7 до 10.

Наличие бандажного кольца в случае короткого замыкания предохраняет машину от больших разрушений.

Установив кольцо на одной стороне, устанавливают бандажное кольцо и на другой стороне; к нему также прикрепляют лобовые части катушек.

Затем статор испытывается на витковое и на корпус и передается на соединение катушек в катушечные группы.

5. УКЛАДКА КАТУШЕК ДВУХСЛОЙНОЙ ОБМОТКИ С НЕПРЕРЫВНОЙ ИЗОЛЯЦИЕЙ

Для примера возьмем статор с шестью пазами на полюс и фазу.

В каждой катушке 16 проводников. Шаг обмотки — из 1-го в 15-й паз.

Вначале устанавливаются бандажные кольца для крепления лобовых частей обмотки. Для установки колец ввертывают по окружности

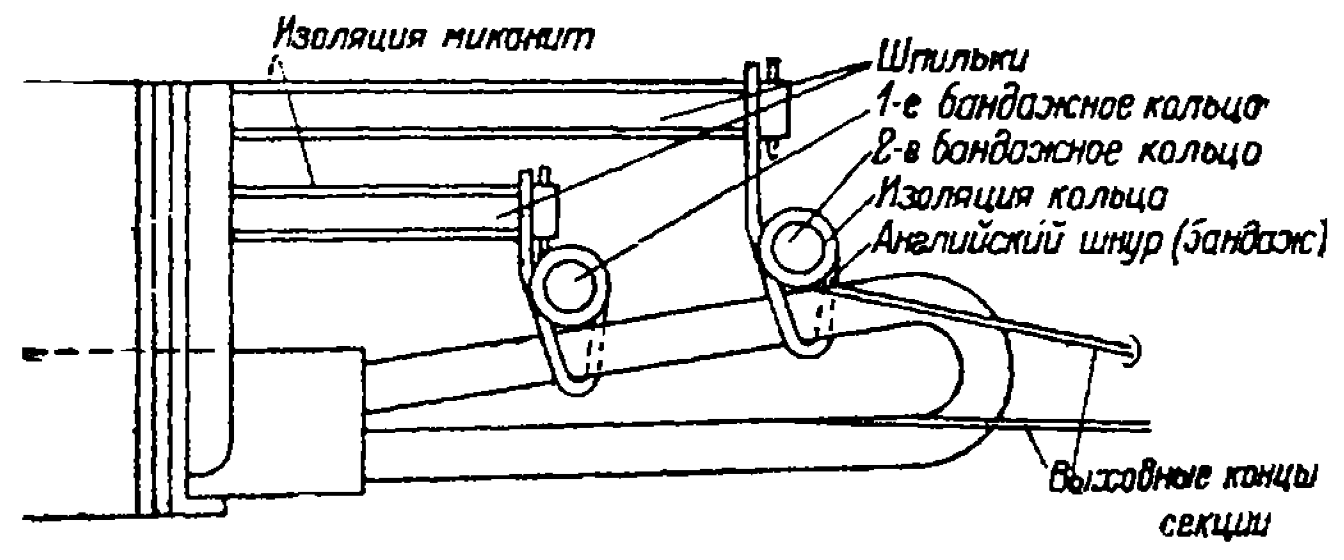


Рис. 384. Крепление бандажного кольца.

статора с обеих его сторон железные шпильки, изолированные миканитом. На рис. 384 показаны два ряда таких шпилек (один ряд для одного кольца и второй ряд для другого). К шпилькам прикрепляются бандажные кольца. Каждое кольцо в зависимости от длины имеет от четырех и более приваренных железных ушков. Кольца изолируются до установки на свои места. Процесс изолировки указан в предыдущем разделе.

Кольцо ушками надевается на шпильки и гайками прикрепляется к ним. На каждой стороне статора, как было сказано выше, ставятся

два кольца: кольцо с меньшим диаметром ставится ближе к железу статора и кольцо с большим диаметром — ближе к головкам катушек.

После установки и закрепления колец приступают к вкладке катушек в пазы статора.

Сперва вставляются первые 14 катушек, причем на дно паза полностью опускаются только правые их стороны. При укладке необходимо следить за тем, чтобы вылеты лобовых частей обмотки были одинаковы с обеих сторон. Кроме того, необходимо соблюдать расстояния лобовых частей обмотки от металлических частей машин.

Вкладка катушек производится в горячем состоянии вследствие большой хрупкости изоляции. Нагревом достигается эластичность изоляции, которая легко ломается в холодном состоянии.

Подогрев катушек ведется при помощи тока, получаемого от генератора постоянного тока, напряжением не выше 12 V. В зависимости от сечения проводника и величины самой катушки дается определенная сила тока так, чтобы процесс нагрева длился 20—30 минут и чтобы катушка нагревалась равномерно до температуры 75° С. Одновременно

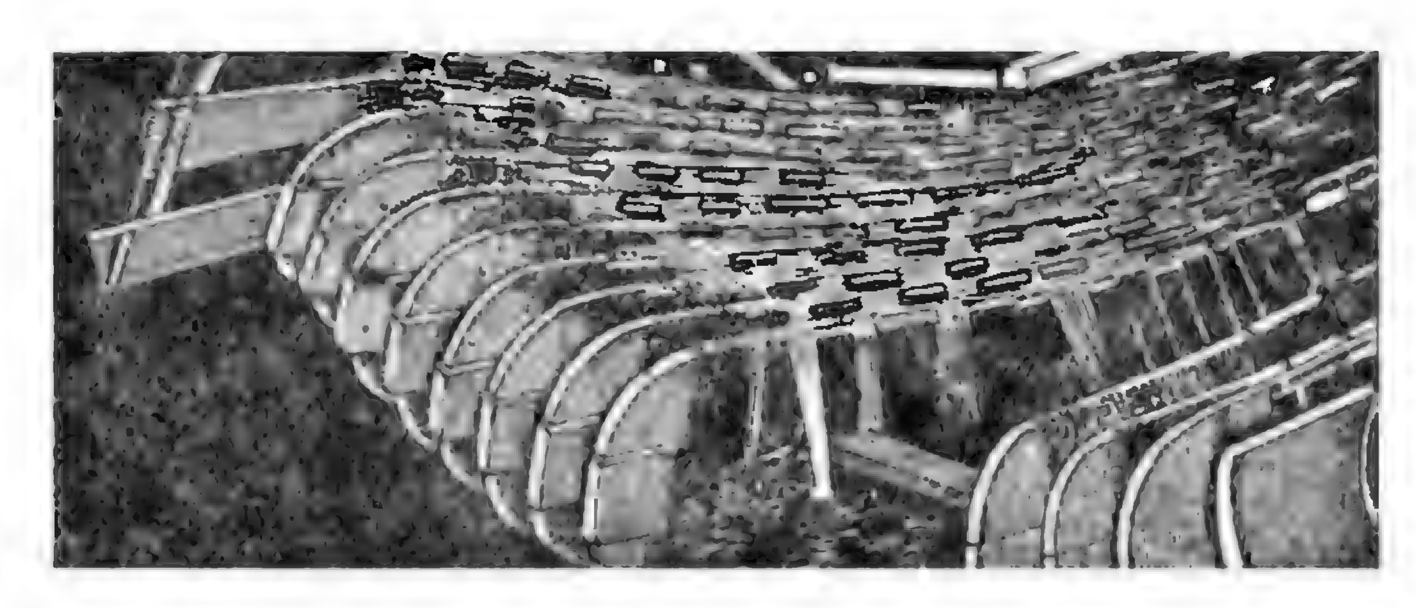


Рис. 385. Место установки дистанционной прокладки.

производится нагрев нескольких катушек (от двух до четырех), соединенных последовательно.

Перед нагревом в определенных местах лобовых частей катушек ставятся дистанционные деревянные прокладки, которые прикрепляются к катушке при помощи шнура. Назначение этих прокладок — отделить лобовые части соседних катушек друг от друга, а также создать воздушные промежутки между лобовыми частями, что важно для охлаждения обмотки.

Место установки дистанционных прокладок указано на рис. 385 и 386.

При нагреве катушек, соединенных последовательно, нагрев проверяют термометром в двух-трех местах. Когда температура их поднимается до 75° С, отсоединяют одну катушку и оставляют такую силу тока, чтобы оставшиеся катушки только поддерживали температуру 75° С, и вкладывают в статор отключенную катушку.

Вкладывают катушки двое рабочих, стоящих с двух сторон статора. Направив от руки правую сторону катушки в паз, на прямую пазовую часть ее накладывают мягкий клин, состоящий из нескольких слоев картона, обвитого хлопчатобумажной лентой. Постукивая по клину осторожно и равномерно деревянными ручниками, осаживают правую

сторону катушки до половины глубины паза. Затем при помощи деревянной доски и ручников ее осаживают равномерно на дно паза.

Для полного осаживания стороны катушки на дно паза в его ласточкин хвост с краев вставляют железный клин с обеих сторон статора. Затем в паз между железными клиньями и стороной катушки с обеих сторон вставляют два деревянных клина. В верхней части верхний клин упирается в поставленные в ласточкин хвост железные клинья. Один рабочий вставляет в паз конусный клин с одной стороны, а второй — с другой. Ударами ручника клинья подбивают до полного прилегания к вложенной стороне катушки. Таким путем достигается плотная и равномерная осадка стороны катушки по всей длине ко дну паза. Конусные деревянные клинья остаются в пазу в указанном положении до полного остывания катушки.

После заклипки лобовые части правой стороны катушки с обеих сторон статора прикрепляются к бандажным кольцам, для чего ставятся по два бандажа из шнура, которые подтягивают их к обоим бандажным кольцам. Так как бандажи ставятся, когда катушка находится в горячем состоянии и когда изоляция на ней мягкая, то под бандаж следует подложить прокладку из пресс-шпана или летероида. Эта прокладка имеет вид колпачка или вилки, которая своими концами упирается в бандажное кольцо.

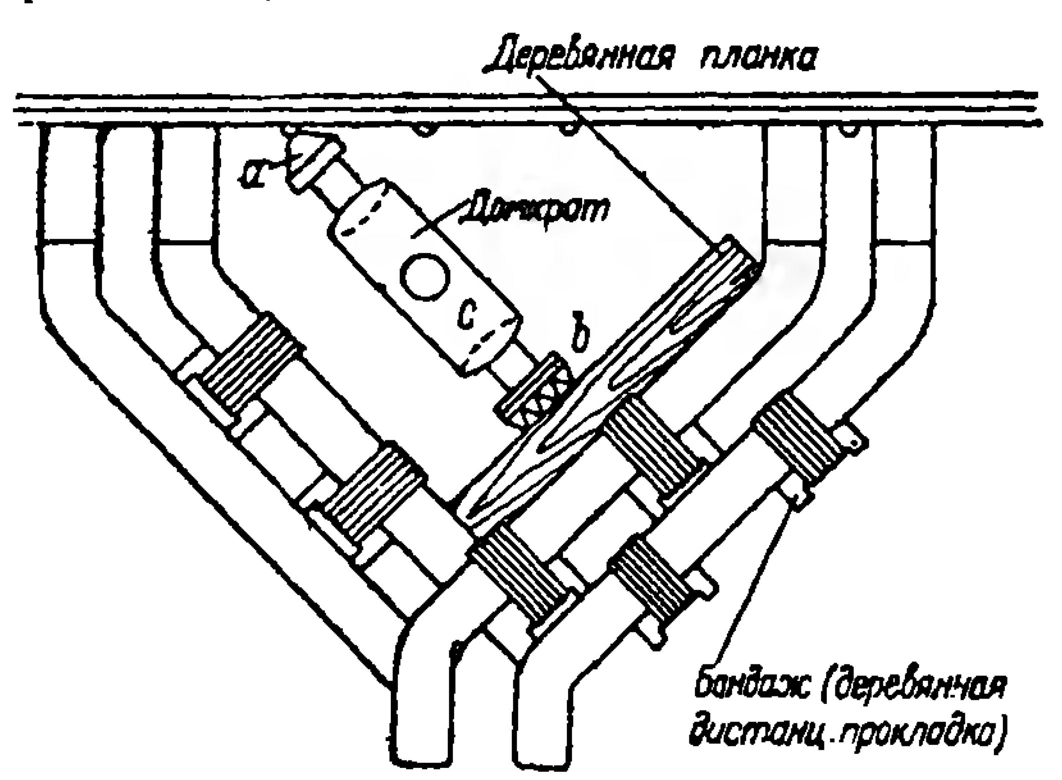


Рис. 386. Рихтовка лобовых частей.

Описанным способом вкладываются и закрепляются бандажами первые 14 катушек, которые уложены в пазы только правыми сторонами.

Приступая к вкладке 15-й катушки и затем последующих, поступают таким образом. 15-ю катушку в горячем состоянии, при температуре около 75° С, правой стороной укладывают на $^1/_2$ высоты в 29-й паз, затем направляют левую сторону ее в 15-й паз, где лежит правая сторона 1-й катушки. Когда левой стороне дают соответствующее направление, на правую сторону накладывают мягкий клин, и двое рабочих осаживают ударами ручника по мягкому клину правую сторону катушки до уровня паза. Далее рабочие осаживают обе стороны катушки одновременно: правая сторона катушки опускается на дно паза ударами ручника по деревянной доске, накладываемой на прямую (пазовую) часть катушки; левая сторона также осаживается при помощи мягкого клина и ручника до уровня железа, а затем при помощи деревянной доски и ручника — вплотную к лежащей в пазу нижней стороне первой катушки.

После этого в ласточкин хвост 15-го паза забиваются деревянные клинья с обеих сторон статора. Правая же сторона катушки осаживается деревянными конусными клиньями, как указывалось ранее.

Лобовые части обеих сторон катушки рихтуются при помощи деревянного ручника и мягкого клина.

Для рихтовки лобовых частей к ним прикладывается, как указано на рис. 386, деревянная планка. В середину этой планки ставится домкрат, чтобы отвести и выправить лобовую часть. Домкрат стороной *b* упирается в деревянную планку, а стороной *a* — в железо статора (в нажимной палец). В середине вращающейся части гайки *c* имеется отверстие для вставки железного прута (для удобства поворота гайки).

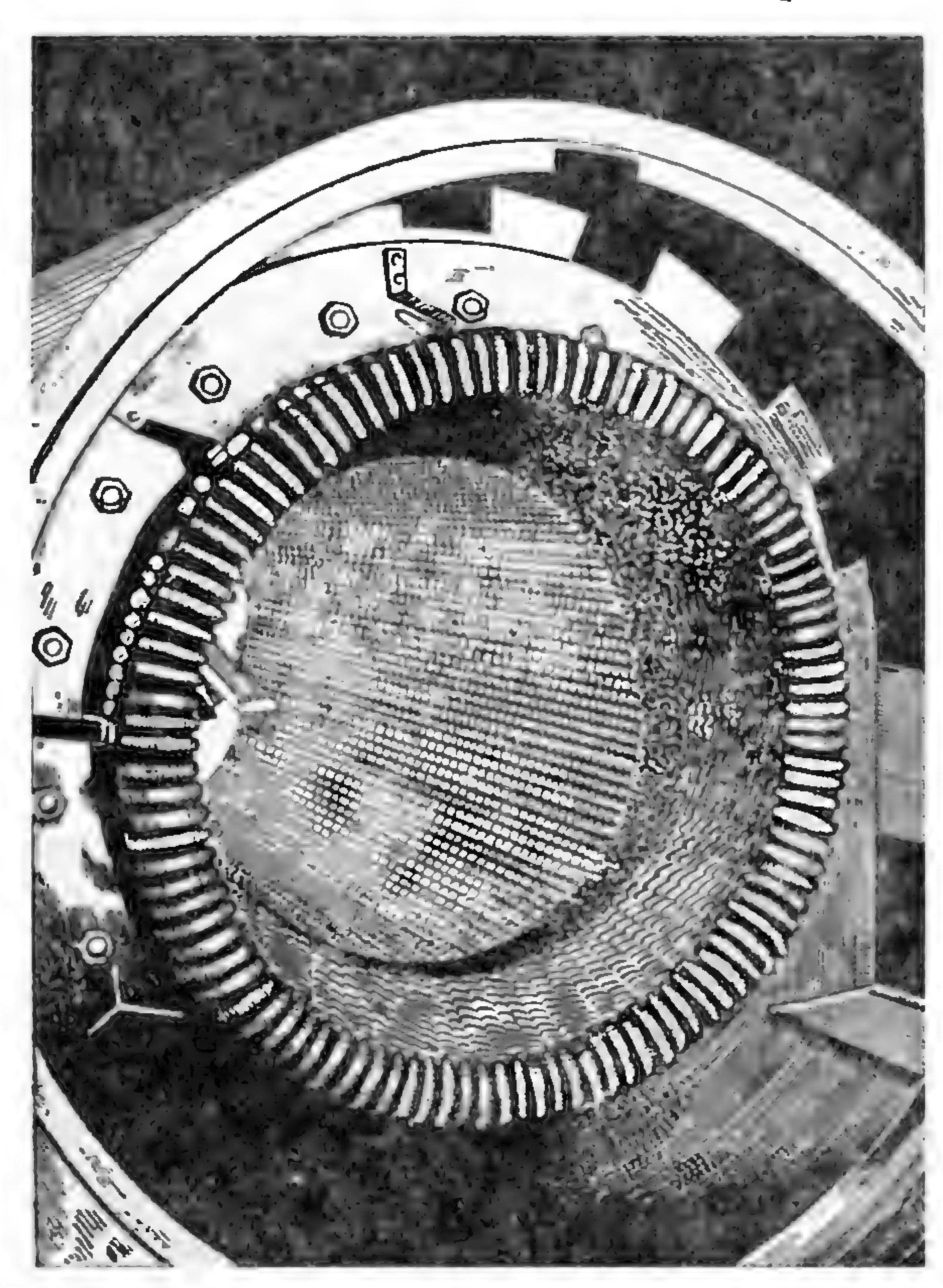


Рис. 387. Статор с уложенной обмоткой.

При соответствующем повороте гайки домкрат нажимает на лобовую часть и отводит ее в надлежащее положение. Это делается на той и на другой стороне статора, после чего лобовые части подвязываются в двух местах к бандажным кольцам. Все это следует выполнить, пока катушка еще в горячем состоянии, т. е. пока изоляция мягка и эластична. Выполнение указанных операций с остывшей катушкой сопряжено с большими трудностями, так как возможны механические повреждения и ослабление изоляции, что при испытании на корпус вызовет пробой.

Чтобы вложить последние 14 катушек, необходимо поднять кверху 14 левых (верхних по расположению в пазу) сторон первых катушек, которые ранее были временно уложены в пазы. Так как эти катушки успели уже остыть за время вкладки остальных катушек, то для подъема их необходимо подогреть. Для этого указанные 14 катушек соединяют последовательно и через них пропускают ток.

Нагрев производится в течение 20—25 минут, и температура катушек доводится до 75° С. Нагретые катушки поочередно отсоединяют по

одной, поднимают с предосторожностью, отгибают внутрь статора и подвязывают их к укрепленной доске (рис. 383). При этом силу тока в оставшихся катушках уменьшают, поддерживая температуру их в 75° С. Таким путем поднимают все 14 сторон катушек и закрепляют каждую самостоятельно.

Самостоятельное закрепление поднятых сторон необходимо для удобства дальнейшего опускания их после вкладки всей обмотки.

Затем нагревают до той же температуры 75° С 14 последних катушек, правые стороны которых должны быть вложены на дно освобожденных пазов. Вкладка последних катушек весьма затруднительна. Во-первых, она требует быстроты, чтобы катушка не могла остыть. Во-вторых, сама по себе вкладка очень неудобна вследствие большой тесноты. Самый же процесс вкладки последних катушек происходит так же, как было описано выше.

Когда уложена последняя катушка, следует поочередно опускать поднятые левые верхние стороны первых катушек. Перед опусканием этих сторон необходимо опять подогреть катушки до температуры 75° С.

Опускание катушек в пазы и заклинка их производится так же, как и раньше.

На левой стороне лобовых частей первых 14 катушек дистанционные прокладки до укладки сторон в пазы не ставятся.

Когда вкладка всех катушек закончена и обмотка заклинена, статор поступает на испытание на витковое и корпус. На рис. 387 показан статор после укладки обмотки.

Как видно из сказанного выше, вкладка двухслойной обмотки с непрерывной изоляцией весьма сложна и требует от рабочих большой аккуратности и осторожности. Несмотря на то, что первые катушки подвергаются троекратному нагреву и подъему, обмотка с непрерывной изоляцией обладает высоким качеством и при тщательной работе дает хорошие результаты.

6. ОБМОТКА СТАТОРОВ СПОСОБОМ ПРОТЯЖКИ

Опишем выполнение обмоток способом протяжки. Процессы обмотки и нормы изоляции взяты из опыта завода «Электросила» им. С. М. Кирова.

За последние несколько лет ручная обмотка, выполняемая впротяжку, вытесняется шаблонной обмоткой по ряду экономических преимуществ: экономии активных материалов (обмоточной меди), большей скорости ее изготовления, простоты выполнения и т. д. Но тем не менее громадное большинство электрических машин, выпущенных электромашиностроительными заводами до внедрения двухслойных обмоток, выполнены старым способом — протяжкой. Заводом ХЭТЗ статоры некоторых типов машин и в настоящее время выполняются протяжкой. Поэтому мы считаем необходимым остановиться также и на выполнении обмоток по этому способу.

А. Изготовление микафолиевых гильз вручную

Железо статора для выполнения обмотки впротяжку имеет закрытые и полузакрытые пазы. Прежде чем приступить к обмотке статора,

необходимо изолировать его пазы. Для изоляции пазов высоковольтных статоров в качестве изоляции применяются ранее заготовленные гильзы из микафолия.

Процесс изготовления микафолиевых гильз следующий. На железную оправку, имеющую форму и размеры гильзы, наматывается полтора слоя кабельной парафинированной бумаги, толщиной от 0,08 до 0,1 *мм*. Затем на кабельную бумагу наматывают микафолий, толщиной от 0,25 до 0,5 *мм*. Число слоев микафолия определяется толщиной гильзы, которая, в свою очередь, зависит от рабочего напряжения машины. Толщина гильзы для статора с рабочим напряжением 3000 V берется 1,8 *мм*, а для статоров, напряжением 6000—6600 V, — от 2,25 до 2,5 *мм*.

Каждый слой микафолия проутюживается горячим утюгом для получения плотного прилегания и склеивания между собой отдельных слоев. Поверх наложенного микафолия наматывают полтора слоя кабельной бумаги, которая предохраняет микафолий от механических повреждений. Наружный слой кабельной бумаги защищает микафолий при установке гильзы в паз статора, а внутренний — при протяжке проводника через гильзу.

Далее гильза подвергается горячей опрессовке (выпечке) для получения требуемого размера, для удаления шеллачных растворителей и придания ей монолитности. После выпечки и охлаждения гильза очищается от всех неровностей и подвергается испытанию на пробой. Испытательное напряжение дается приблизительно четырехкратное по отношению к рабочему напряжению.

Хорошо изготовленная гильза должна иметь гладкие и ровные поверхности — как внутреннюю, так и наружную, и при постукивании по ней металлической палочкой должна издавать звонкий и чистый звук. Длина гильзы должна быть более длины активного железа.

Изготовленная описанным способом гильза поступает в готовом виде к обмотчику.

Б. Изготовление микафолиевых гильз на станке

Изготовление микафолиевых гильз на станке производится следующим образом. Лист микафолия кладется на широкую горячую плиту. После того как шеллак под действием тепла достаточно размягчится, кладут на него оправку и обворачивают ее вручную. Для придания прочности микафолию на последний слой его наносится слой летероида или кабельной бумаги. После этого оправка с микафолиевой изоляцией устанавливается в обкаточный станок, схематический разрез которого изображен на рис. 388.

Оправка с микафолием *С* прикрепляется к двум дискам, расположенным с обеих сторон станка (диски на схеме не показаны). Вращение дисков производится электромотором. Одновременно с вращением дисков вращается и оправка с намотанным на нее микафолием. Как видно из схематического разреза, стержень помещается между двумя неподвижными плитами *П*, *П* и верхней нажимной планкой *НП* (подвижной). Зажимная планка прикрепляется к штоку *АВ* и шарниру *Ш*, благодаря которому шток вращается. Давлением нажимной планки

стержень прижимается к плитам, имеющим электрический обогрев. Обкатываясь между горячими плитками, доведенными до 100° С, шеллак, находящийся в микафолии, размягчается, что способствует более плотному прилеганию листочков слюды друг к другу. Обкатка микафолием производится около 50 минут.

При слабом обогреве плит, а равно и при небольшом времени обкатки размеры гильз оказываются слишком большими. Во избежание этого процесс обкатки повторяется. Вынутая после обкатки оправка с микафолием кладется в пресспланки, где и обжимается до требуемых размеров. Не вынимая запрессовки из пресспланок, дают ей остыть в зажатом состоянии.

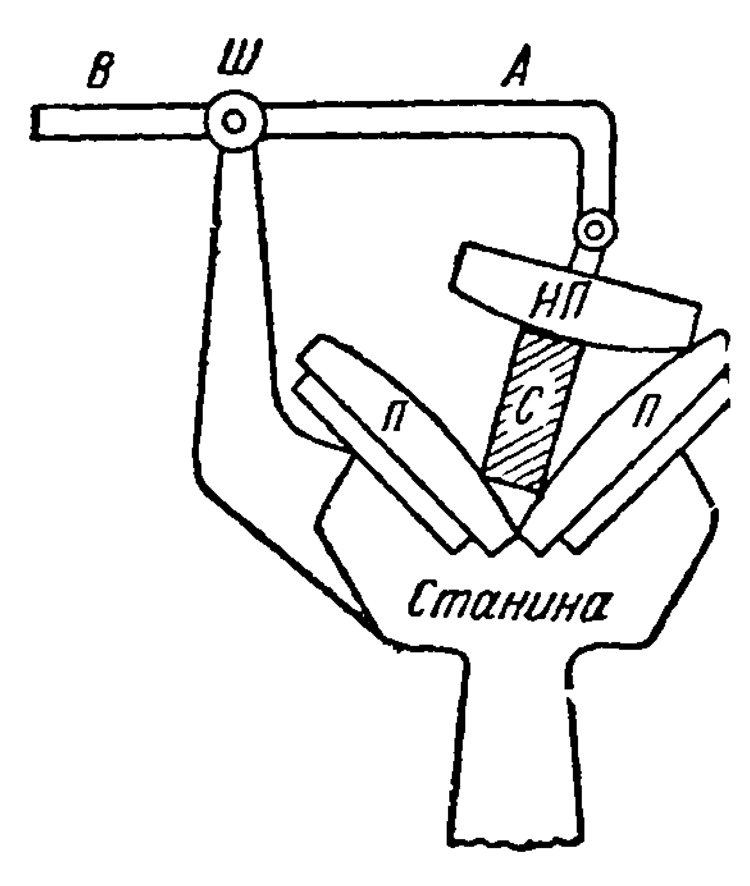


Рис. 388. Схема обкаточного станка.

В. Изготовление прессшпановых гильз

Для изоляции от паза проводников низковольтных машин применяются, как мы уже упоминали, гильзы из прессшпана или летероида. Для примера возьмем машину, изоляция паза которой по расчетным данным должна состоять из лакоткани, толщиной 0,4 *мм*, и прессшпана, толщиной 0,6 *мм*, т. е. толщина гильзы должна быть равна 1 *мм*.

Для изготовления гильз берутся два деревянных конусных клина-оправки с одинаковыми углами конусности. Размеры клиньев берутся такими, что, будучи сложенными, они дают высоту немного более общей высоты проводников, укладываемых в паз. Например, если размеры всех проводников равны 16,8 × 23 *мм*, то оправки должны иметь размер 17,2 × 23,2 *мм*.

Для гильз возьмем прессшпан, толщиной 0,2 *мм*, в 3 слоя и лакоткань, толщиной 0,2 *мм*, в 2 слоя. Учтем, что гильзы должны быть по длине более длины железа статора по 15—20 *мм* с каждой стороны статора, т. е. если статор имеет длину железа 400 *мм*, то гильзу делают длиной 430—440 *мм*.

Гильзы изготовляются следующим образом. Поверх клиньев, которые немного раздвинуты в сторону для уменьшения общих размеров, накладывается один оборот прессшпана, который смазывается шеллачным лаком. Затем накладывается лакоткань, которая вместе с последними двумя оборотами прессшпана плотно накручивается и прижимается к оправке, после чего поверх полученной гильзы накладывается по всей ее длине хлопчатобумажная лента вразбег для скрепления гильзы.

Затем конусные клинья подбиваются с обеих сторон во внутрь до намеченного заранее на каждом клине предела, определяющего необходимые размеры гильз. Гильза распирается клиньями. После этого гильза снимается с оправки и, когда лак высохнет, считается готовой.

Г. Подготовительные работы

Для примера возьмем обмотку восьмиполюсного трехфазного статора высокого напряжения с 72 пазами. В пазу 36 проводников. Обмотка выполняется проводом круглого сечения с изоляцией ПБДО (хлопчатобумажная двойная с оплеткой).

Поступивший для обмотки впротяжку статор тщательно осматривается: пазы не должны иметь выступов отдельных листов железа и заусенцев. Замеченные недостатки необходимо устранить. Заусенцы и выступы должны быть запилены, и струей сжатого воздуха пазы должны быть очищены от посторонних предметов.

Но слишком хорошо запиленные и зашлифованные пазы, имеющие зеркальную поверхность, недопустимы. В этом случае будет наблюдаться большой нагрев железа (вследствие токов Фуко), а следовательно и проводников обмотки. Этот нагрев, с одной стороны, вызывает бесполезные потери энергии в машине, а с другой, — чрезмерное выделение тепла, неблагоприятно действующего на изоляцию.

После осмотра в те пазы статора, где будут лежать нижние катушки, вставляются миканитовые гильзы. Они должны быть размещены по пазам статора, исходя из следующего подсчета.

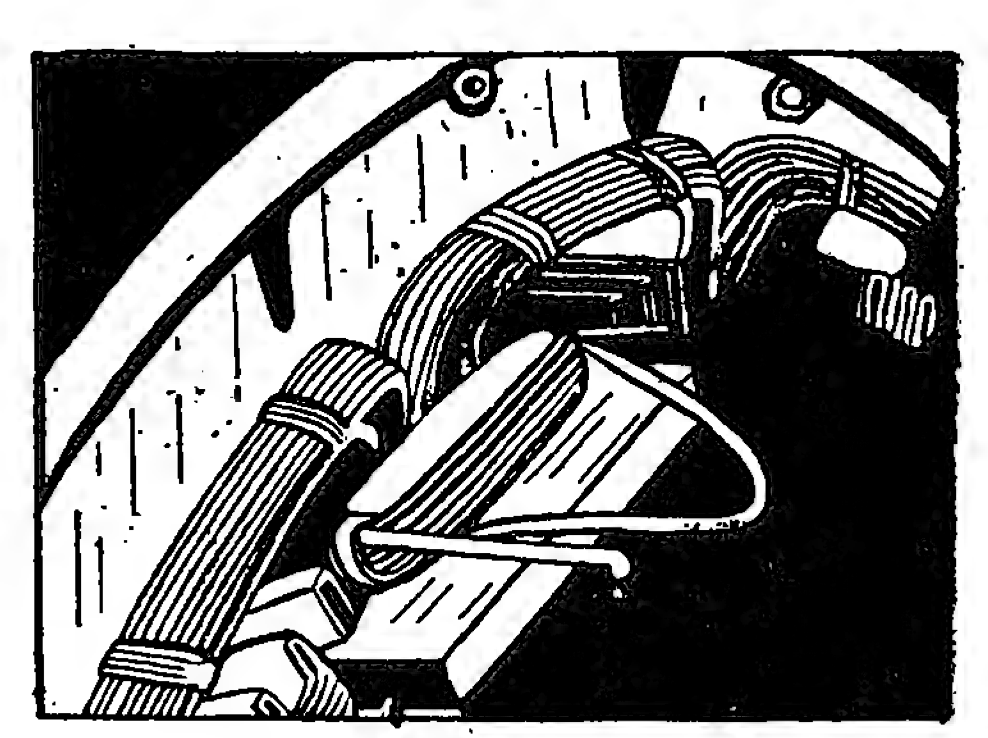


Рис. 389. Шаблон для намотки верхней катушки.

При 72 пазах для трехфазного статора на каждую фазу приходится 72 : 3 = 24 паза. Число пазов на полюс и фазу, или, как говорят, пазов на сторону, будет равно 24 : 8 = 3, так как статор, как выше указано, имеет 8 полюсов. Следовательно каждая катушечная группа имеет 3 катушки, а так как каждая катушка занимает 2 паза в статоре, то каждая катушечная группа займет 6 пазов.

Таким образом вся обмотка будет состоять из 12 катушечных групп, из них 6 верхних и 6 нижних.

В каждой фазе должны быть 2 верхних и 2 нижних катушечных группы.

Нижними или отложными называются те катушки или катушечные группы, которые будут иметь отгиб лобовых частей в сторону наружного диаметра статора.

Верхними называются катушки или катушечные группы, имеющие прямые лобовые части, находящиеся ближе к оси статора.

Соответственно сделанному подсчету следует разместить гильзы для нижних катушек по пазам статора. Занимаем 6 рядом лежащих пазов, и, пропустив 6 пазов, ставим вновь 6 гильз. Уложенные в пазы гильзы укрепляются вверху паза деревянными клиньями. Эти клинья в большинстве случаев состоят из двух частей, забиваемых с двух про-

тивоположных сторон статора. Изготовляются клинья из сухого бука и провариваются в масле. Укрепленная клином гильза должна плотно сидеть в пазу.

Для намотки катушек и придания их лобовым частям надлежащего очертания применяются специальные деревянные шаблоны. Такой шаблон для намотки верхних катушек показан на рис. 389. Лобовая часть его имеет очертание внутренней стороны лобовой части 1-й катушки.

Рис. 390. Шаблон для намотки нижней катушки.

Шаблон для намотки нижних катушек показан на рис. 390; он устанавливается с двух сторон железа статора, причем обе части шаблона соединяются клином, имеющим форму ласточкина хвоста. Шаблон укрепляется деревянным упором, упирающимся одним концом в шаблон, а другим — в диаметрально-противоположную часть железа статора.

Между статором и лобовой частью шаблона с обеих сторон статора устанавливаются доски, толщиной около 30 *мм*, показанные на рис. 390. Доски делаются разрезными, чтобы их легко было снимать после намотки.

При частичном ремонте можно обойтись без описанного шаблона. В этом случае применяют так называемые «кулачки» (рис. 391), имеющие хвосты для крепления их в пазах статора.

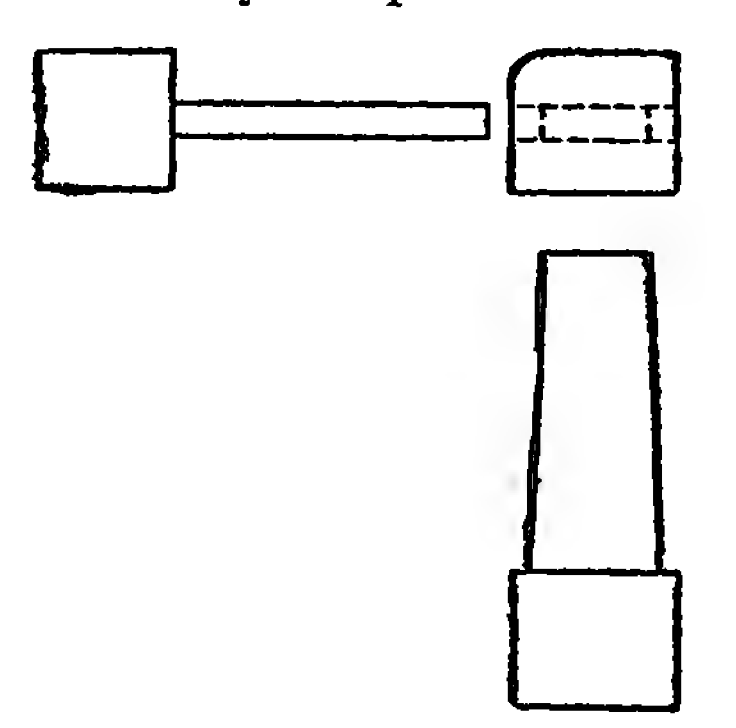


Рис. 391. Кулачки для частичного ремонта.

Перед намоткой нижних катушек шаблон должен быть установлен вплотную к железу статора, между шаблоном и железом устанавливаются деревянные доски. Стороны шаблона должны быть хорошо подогнаны к гильзам 1-й внутренней катушки катушечной группы.

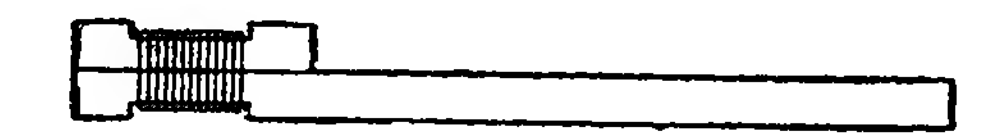


Рис. 392. Деревянный крючок.

Доски должны плотно подпирать миканитовые гильзы, чтобы во время намотки при натяжении проводника предохранить гильзу от повреждения.

Затем заранее заготовленные деревянные шпильки вставляют в гильзы обматываемых пазов. Количество деревянных шпилек должно быть изготовлено из следующего расчета.

В каждом пазу должно быть уложено 36 ординарных проводников, а по ширине паза помещаются 3 проводника, следовательно, по высоте будет 12 рядов проводников. Ширина шпилек должна быть равна тройному диаметру проводника с изоляцией.

Шпильки должны быть изготовлены по длине более длины миканитовых гильз на 100 *мм* (по 50 *мм* на каждую сторону статора). Для лучшего использования шпилек следует изготовить их длиной, достаточной для намотки верхних катушек.

Чтобы во время протаскивания проводника шпильки не вылетали из гильз вместе с протаскиваемым проводником, применяют «крючки» (рис. 392). Крючки — это те же шпильки, к одному концу которых привязывается вязальной проволокой небольшой деревянный отрезок от этих же шпилек, служащий упором.

В паз вставляются три железных крючка. Железные крючки по длине должны быть не менее длины верхних гильз, а по диаметру равны диаметру проводника с изоляцией.

На рис. 393 видны шпильки и крючки в гильзах перед началом обмотки.

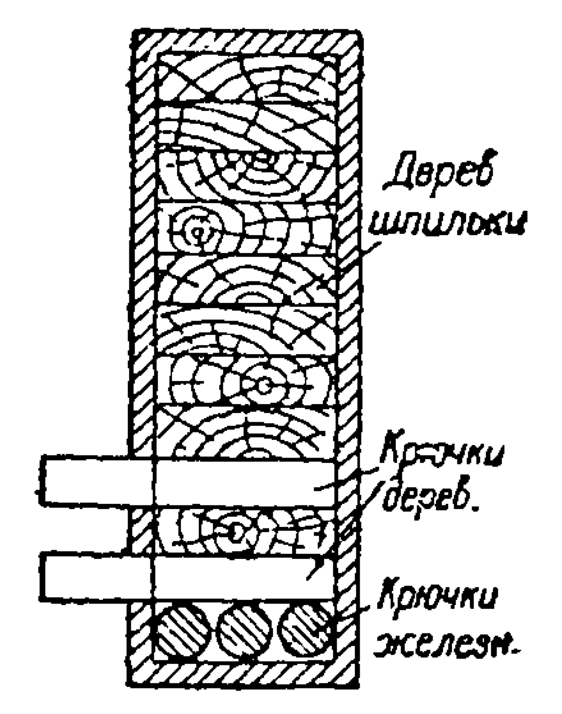


Рис. 393. Установка шпилек и крючков.

Д. Намотка нижних катушек

Бухта с проводником для удобства работ насаживается на вращающийся конус, затем отматывается отрезок проводника, по длине необходимый для обмотки одной катушки. Начальный конец проводника зачищается от изоляции по длине, которая более длины гильзы. Неровности конца закругляются, чтобы при вставке в паз не повредить внутренней стенки гильзы.

Для определения длины провода, необходимой для намотки требуемого числа витков (в приведенном примере 36 витков), делается обмер длины одного витка шпагатом. Зная длину одного витка, можно отмерить от бухты необходимую длину провода. Для 36 витков мы получаем очень большую длину проводника, поэтому для экономии времени и для удобства работы берут приблизительно половину этой длины, т. е. на 18 витков. Отмеренный провод отрезают от бухты. Такой способ намотки позволяет ускорить ее, а проводник менее повреждается при протаскивании.

Протяжка производится вручную двумя рабочими, находящимися по обе стороны статора. Рабочие поочередно протаскивают проводник через пазы с одной стороны статора на другую. Протащенный проводник должен быть уложен в круг, чтобы при работе его не запутать и не повредить. Его необходимо протереть парафином, чтобы уменьшить трение, чем в значительной мере достигается сохранение изоляции.

Порядок намотки проводников, лежащих в гильзах, показан на рис. 394, где изображены два паза и стрелкой указано направление намотки.

Протяжка и укладка производятся следующим образом. Зачищенный конец проводника вставляется со стороны *К* одним из рабочих на

место вытащенного 1-го железного крючка из паза с левой стороны шаблона (рис. 390). Второй рабочий весь проводник, предназначенный для намотки 18 витков, протягивает на сторону *П*, где и укладывает его на пол в круг. Далее второй рабочий вставляет начало проводника на место 1-го железного крючка с противоположной стороны шаблона и пропускает его через паз, а первый рабочий опять протаскивает проводник на сторону *К*.

Первый рабочий вытаскивает 2-й железный крючок в первом пазу и на его место пропускает начало проводника. Второй рабочий протаскивает проводник и также направляет его со своей стороны на место 2-го железного крючка. Первый рабочий вытаскивает 3-й крючок (первого паза) и ставит на его место проводник.

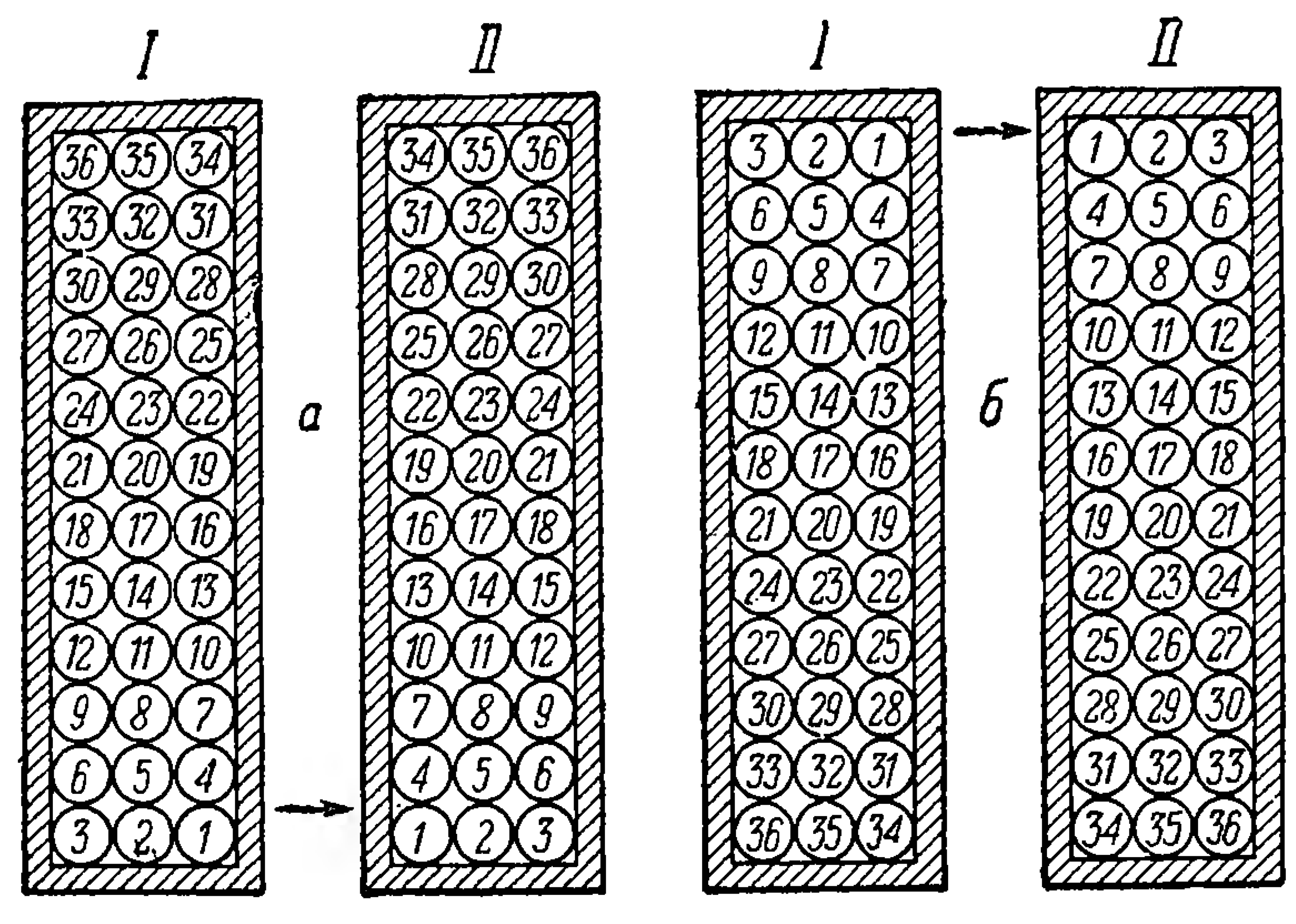


Рис. 394. Порядок намотки проводников.

Протаскивание третьего оборота производится таким же образом, но несколько медленнее при обязательном парафинировании. Обороты проводника второго ряда протаскиваются между второй и четвертой шпильками. Деревянные крючки устанавливаются вместо второй и четвертой шпилек (рис. 393), а железные — между ними. Протаскивание проводника между деревянными крючками необходимо, с одной стороны, для сохранения рядов, а с другой, — для сохранения целости изоляции.

После намотки второго ряда вынимают нижний деревянный крючок, и второй ряд проводников занимает его место. Вытащенный крючок ставится на место 6-й деревянной шпильки. Между 4-м и 6-м деревянными крючками ставятся железные крючки. Далее процесс повторяется до тех пор, пока не будет использована вся длина провода, отмеренная для 18 витков.

Укладка витков на лобовой части производится следующим образом. Начальный конец изолируется 3 раза лакотканью, толщиной 0,2 *мм*, в полнахлестки (для напряжения 3000 V) и укладывается на стороне *К*

на торцовой стороне шаблона. На стороне *П* первый виток укладывается на шаблон вплотную к доске шаблона. Для получения плотного прилегания витки прижимаются к шаблону деревянными или фибровыми клиньями. При укладке 4-го витка, который является переходным из первого ряда во второй, следует сделать небольшой изгиб, который в месте перехода изолируется лакотканью (рис. 395).

Уложив указанным способом 18 витков, следует от бухты отмерить и отрезать проводник, длиной еще на 18 витков, конец его соединить с концом намотанного проводника скобочкой и пропаять ее оловом. Место спайки следует изолировать лакотканью и лентой. Пайка обычно производится на стороне *П*, так как на стороне *К* неудобно ее уложить вследствие имеющихся переходов.

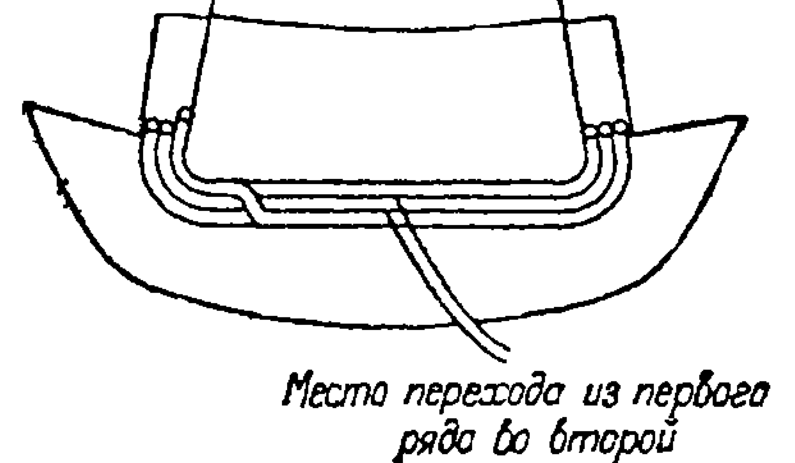


Рис. 395. Переход проводника из одного ряда в другой.

Оставшийся после намотки первой катушки конец лежит на стороне *К* с правой стороны шаблона на 36-м обороте. Этот конец будет служить началом 1-й катушки и должен быть изолирован при выходе из гильзы лакотканью к хлопчатобумажной лентой в полнахлестки.

Чтобы намотать 2-ю катушку, необходимо изготовить прокладки из картона или прессшпана, которые должны быть поставлены между гильзами 1-й и 2-й катушек с правой и левой сторон. Прокладки должны плотно прилегать к намотанной 1-й катушке. Закругленная часть прокладок, как видно из рис. 396, сходит на-нет.

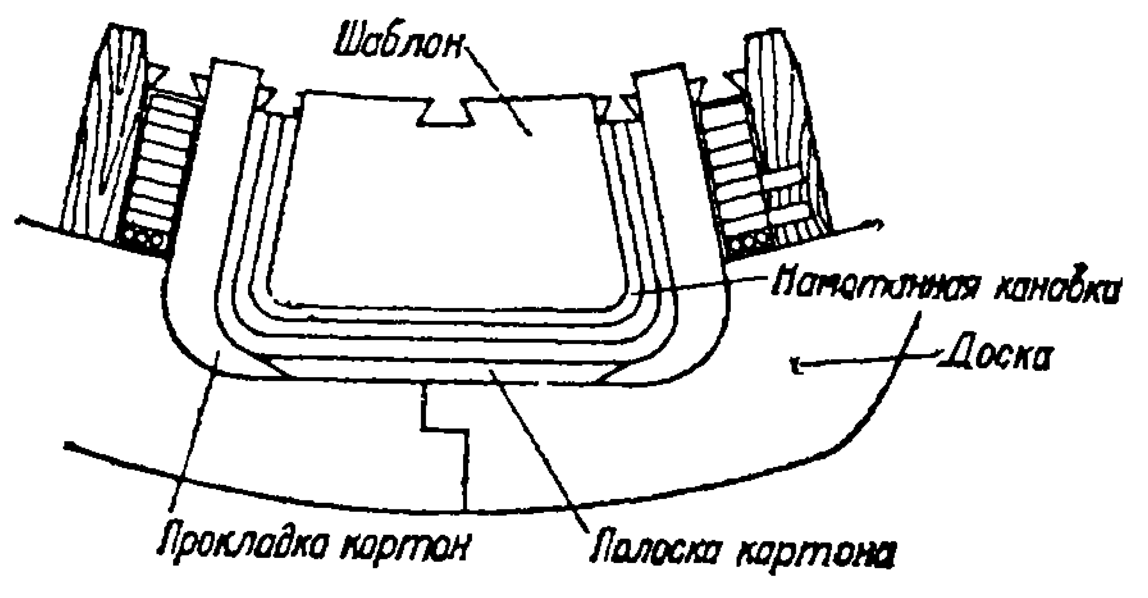


Рис. 396. Установка прокладок.

Для того чтобы создать необходимый промежуток между лобовыми частями 1-й и 2-й катушек, который должен быть оставлен для изолировки их и для вентиляции, под отогнутую лобовую часть 1-й катушки подкладывается прокладка из полос картона. В прокладке делается вырез для выпуска изолированного конца 1-й катушки, идущего на соединение со 2-й катушкой.

Когда прокладки поставлены на место с той и другой стороны статора, в гильзы 2-й катушки вставляются те же деревянные шпильки. Если шпильки не вплотную прилегают к поставленным прокладкам, то следует кругом по лобовой части 1-й катушки поставить на прокладки полосы прессшпана такой толщины, чтобы прессшпан плотно прилегал к шпилькам.

Намотка 2-й катушки производится таким же образом, как в 1-й.

После намотки 2-й катушки делают картонные прокладки для создания промежутка между 2-й и 3-й катушками. Прокладки устанавли-

ваются такие же, как и ранее, но только их следует сделать немного длиннее первых, так как вторая катушка после намотки длинней первой. Намотка 3-й катушки во всем аналогична намотке 1-й. Конец 3-й катушки изолируется по выходе из миканитовой гильзы лакотканью и лентой в полнахлестки по длине достаточной, чтобы подвести конец под бандаж.

Затем концы всех катушек соединяются между собой при помощи скобок, пропаиваются и изолируются, образуя таким образом катушечную группу. Изолировка места пайки производится также лакотканью и лентой одним слоем в полнахлестки.

После намотки катушечной группы деревянный шаблон вынимается. Выемка шаблона производится параллельно оси статора на себя. Вместе с шаблоном вынимаются также и доски. Шаблон и доски применяются для намотки остальных нижних катушек.

Е. Изолировка нижних катушек

После намотки всех нижних катушек производится их изолировка, причем каждая катушка изолируется отдельно лакотканью в полнахлестки и лентой в полнахлестки. Изолировка лакотканью производится таким образом: конец ленты закрепляют на гильзе, делая 3—4 оборота на всей длине гильзы, выступающей из паза, а затем обматывают катушку до середины лобовой части. То же самое делают и с другой стороны катушки. Встречные концы ленты на середине катушки перекрывают друг друга. Поверх ленты из лакоткани накладывается хлопчатобумажная лента. Закрепляется лента на гильзе у самого железа, причем под ленту должен попасть и деревянный клин, которым заклинены гильзы. Изолировка лентой ведется также с двух сторон катушки до середины ее лобовой части, где лента закрепляется.

Окончив изолировку лентой, между катушками вставляют прессшпановые прокладки ближе к углам (закруглениям), после чего в местах прокладок ставятся бандажи из английского шнура, диаметром 2 *мм*. Под бандажи необходимо подвести и закрепить выводные концы катушек: один под правый бандаж, а второй — под левый. Для лучшего скрепления бандажи смазываются шеллачным лаком.

Изолированные нижние катушки обмотки статора испытываются на витковое и на корпус.

Ж. Намотка и изолировка верхних катушек

Перед намоткой верхних катушек следует продуть пазы статора, предназначенные для них, после чего в пазы вставляются гильзы. Для намотки верхних катушек также применяются деревянные шаблоны. Шаблон для верхних катушек показан на рис. 397.

Поставленный на место шаблон лобовыми частями прилегает к нижним катушкам, а также плотно подгоняется к гильзам 1-й верхней катушки. Шаблон в рабочем положении закрепляется двумя деревянными упорами так же, как при укреплении шаблона нижних катушек.

В гильзы вставляются железные и деревянные крючки, причем последние располагаются в обратном порядке по сравнению с располо-

жением их при намотке нижних катушек, потому что намотка верхних катушек производится сверху вниз. Расположение проводников в гильзах показано на рис. 394, *б*.

Процесс протяжки проводника происходит так же, как и для нижних катушек. Укладка проводников в лобовых частях здесь проще, так как проводники укладывают с небольшим изгибом, как это видно из очертания шаблона.

При следовании проводника из одного ряда в другой делаются переходы, которые изолируются лакотканью. Переходы располагаются по всей лобовой части катушки.

После намотки первой катушки выводной ее конец изолируется три раза лентой из лакоткани в полнахлестки и один раз хлопчатобумажной лентой также в полнахлестки. Второй же конец используется для намотки второй катушки.

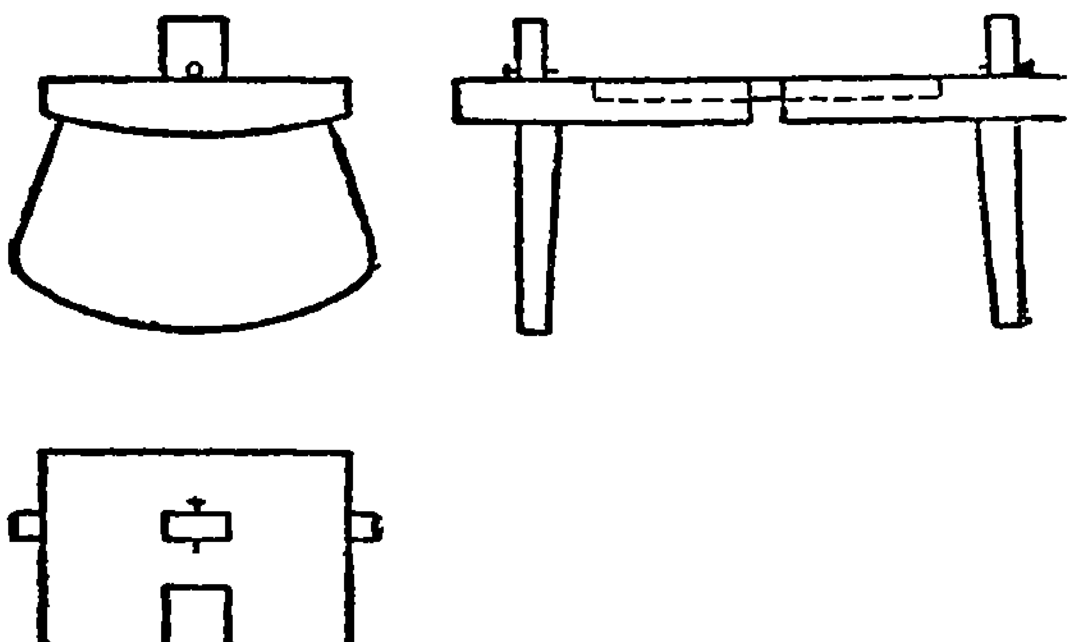


Рис. 397. Шаблон для верхних катушек.

Для намотки второй катушки следует изготовить из картона прокладки, которые закладываются между боками лобовых частей катушки. Между серединами лобовых частей катушек также ставятся временные дистанционные прокладки, которые после намотки вынимают, оставляя место для изоляции постоянных прокладок, устанавливаемых впоследствии при наложении бандажей.

После намотки второй катушки к бокам ее лобовой части также ставятся картонные прокладки, которые должны быть длиннее первых прокладок, уложенных между 1-й и 2-й катушками. Все верхние прокладки прямыми частями должны упираться в железо статора, а закругленными частями лечь на закругленные лобовые части намотанных катушек.

Уложив лобовые части всех катушек и соединив их в катушечные группы, накладывают на них изоляцию. Верхние катушки изолируются тем же способом, как и нижние катушки. Бандажи на верхних катушечных группах ставятся так же, как и на нижних. Выводные концы катушечных групп должны быть также закреплены под бандажами.

После намотки верхние катушечные группы испытываются на витковое и на корпус, а затем статор поступает на соединение катушечных групп.

3. Выполнение обмоток низковольтных машин

Изготовление гильз для низковольтных машин было рассмотрено. Обмотка статоров низковольтных машин чаще всего ведется так

называемой литцей, представляющей собой большое количество медных проволок, перевитых между собой. Сечение литцы большей частью прямоугольное. Литца обычно имеет следующую изоляцию: хлопчатобумажная пряжа в два слоя, один из которых намотан в правую, а другой в левую сторону, а поверх пряжи — хлопчатобумажная оплетка. Это — изоляция марки ПБДО (провод бумажный двойной с оплеткой).

Когда статор очищен от посторонних предметов, в пазы для нижних катушек вкладываются изоляционные гильзы, заклиниваемые сверху деревянными клиньями, которые забиваются с двух сторон статора.

Дальнейшие операции по намотке катушек, как то: подгонка шаблона, деревянных шпилек и крючков, а также процесс протяжки, — аналогичны описанным выше для круглого проводника.

Для плотного прилегания к шаблону литца осаживается при помощи фибрового клина, по которому ударяют ручником. Соединение катушек между собой производится посредством скобок, в которые вставляются концы катушек встык, и пропайкой оловом. Выводные концы катушечных групп изолируются одним слоем ленты из лакоткани и хлопчатобумажной лентой в полнахлестки.

Для статоров с небольшим рабочим напряжением — до 500 V катушки не изолируются. Между отдельными катушками ставят дистанционные прессшпановые прокладки ближе к местам закруглений лобовых частей, на которые наматываются бандажи из английского шнура с подводом под них изолированных выводных концов.

После испытания на витковое и на корпус статор поступает на соединение катушечных групп.

Обмотка статора из литцы для машин с бóльшим напряжением производится аналогично описанному, только вместо прессшпановых гильз в пазы вставляются микафолиевые гильзы.

ГЛАВА XIII

БАНДАЖИРОВКА ЯКОРЕЙ И РОТОРОВ

Наложение бандажей производится на специальном бандажировочном станке, по своему устройству напоминающем токарный станок. Обычно бандажировочный станок работает от отдельного электродвигателя. Посредством переключателя станку можно дать вращение в обе стороны.

На рис. 398 показан бандажировочный станок. Он состоит из следующих основных частей: *1* — планшайбы для зажима конца вала; *2* — задней бабки для укрепления другого конца вала; *3* — подвижного люнета, который служит опорой валу между планшайбой и задней бабкой; люнет может передвигаться вдоль оси станка; *4* — деревянного вкладыша люнета, поднимаемого посредством червячной передачи; вкладыш имеет полукруглое очертание для легкого поворота шейки вала и во время работы смазывается тавотом; *5* — педали для включения и выключения станка.

Бандажная проволока подается с бухты, насаженной на барабан, укрепленный на особом приспособлении. Рама приспособления укрепляется на четырех опорах, которые могут передвигаться по салазкам, укрепленным в полу, параллельно оси бандажировочного станка. В верхней части рама имеет длину 500—600 *мм* и ширину между угольниками 100 *мм*. По угольникам поверху двигаются три ролика *6*, *7* и *8*, через которые проходит проволока. Со стороны салазок с задней стороны рамы укреплен на кронштейнах вал *10*, на котором вращается разборный барабан *9* с навитой на него проволокой.

На рисунке видно также приспособление с грузом *14* для натяжения проволоки; это приспособление скользит по проволоке своим роликом *13* и висит на нем. На конце вала имеется шкив *11*, который охватывается двумя полухомутами, с одной стороны укрепленными

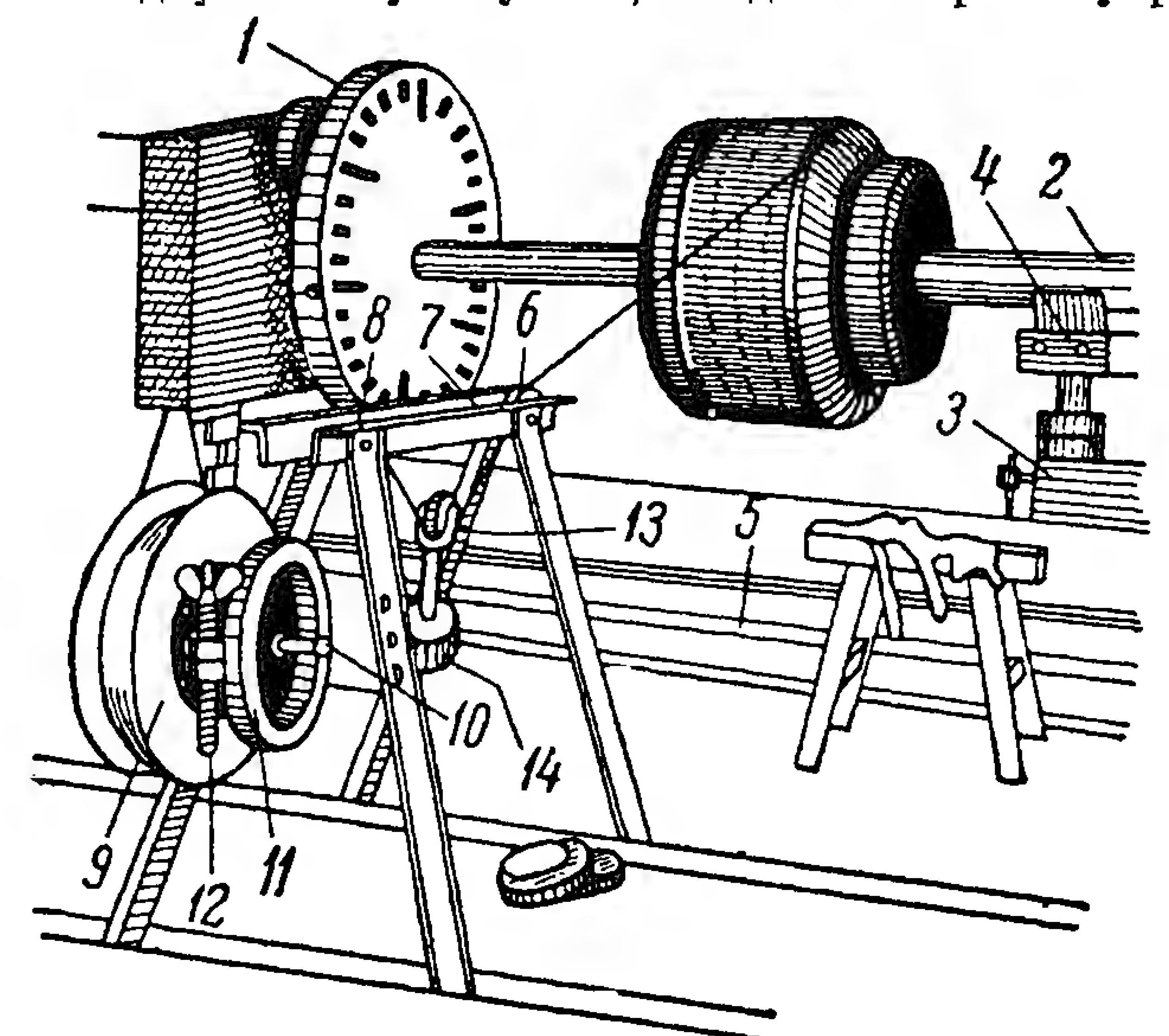


Рис. 398. Установка для бандажировки.

на раме, а с другой — стягиваемыми винтом с барашком *12*. Посредством полухомутов можно стягивать шкив с любой силой и тем самым препятствовать свободному вращению барабана. Проволока, сходящая с барабана, огибает сперва вращающийся ролик *8*, затем проходит под ролик *13*, на котором висит груз *14*, и поступает на ролики *7* и *6*, а с последнего ролика идет на якорь, на котором и закрепляется.

Для наложения бандажа якорь устанавливается на бандажировочный станок. Задний конец вала зажимается в планшайбе, как указано на рис. 398. К шейке вала со стороны коллектора подводится деревянное основание люнета и поднимается до соприкосновения с шейкой вала. Под каждый кулачок планшайбы подкладывают подушку из плоской красной меди, чтобы не повредить конца вала при его зажатии. Вал зажимается кулачками в планшайбе и центром задней бабки, после чего установка якоря выверяется.

Станок включается на тихий ход и с помощью ручника и деревянного или фибрового клина выравнивают лобовую часть обмотки на якоре. Выровняв лобовую часть, на окружность железа якоря накладывают вручную первый оборот проволоки и закрепляют на железе. Это может быть сделано двумя способами.

При первом способе в один из вентиляционных каналов между двумя пакетами железа якоря вбивается деревянный клин, который выступает над железом якоря на 20—40 *мм*. На выступающий конец клина надевается конец проволоки, свернутый петлей. При втором способе закрепление производится так: по окружности железа вручную накладывается один оборот проволоки, которая скрепляется петлей путем скручивания конца проволоки. Так как этот виток проволоки наложен на железо якоря, т. е. далеко от того места, где должен стоять бандаж, то делают 2—3 оборота вразбег с таким расчетом, чтобы последний оборот пришелся на том месте, где должен начинаться бандаж. Обычно бандажи ставятся на лобовой части против обмоткодержателей, отступя на 15—30 *мм* от внутреннего края петушков, а на задней стороне — на таком же расстоянии от головок.

Обычно для бандажей применяется стальная проволока. Но бандажи некоторых якорей выполняются из немагнитной стальной, а иногда и из бронзовой проволоки, для уничтожения токов Фуко, вызывающих большой нагрев. Во избежание влияния нагрева между слоями бандажа ставятся прокладки из асбестового полотна.

Наложение бандажей обычно производится в направлении от железа якоря к краю лобовых частей. Не надо упускать из виду, что первые витки проволоки с необходимым натяжением уложить нельзя и что только последующие витки имеют нормальное натяжение.

Под накладываемую проволоку подкладывается изоляция, которая должна выступить за пределы бандажа в обе стороны не меньше чем на 5 *мм*, т. е. должна быть шире накладываемого бандажа. Изоляция подкладывается либо из полос одного пресшпана, либо смешанная — из миканита и пресшпана.

Поверх изоляции под проволоку подкладываются скобы (замки) для укрепления бандажа с таким расчетом, чтобы они были расположены равномерно по всей окружности на равном расстоянии друг от друга.

По мере наложения витки бандажной проволоки пропаивают сначала только около замков для лучшего закрепления. При наложении проволоки следят за тем, чтобы между отдельными витками не было пустого промежутка. Для этого наматываемые витки проволоки подбивают к остальным виткам тупым бородком, легко постукивая по нему ручником. Также следят, чтобы натяжение проволоки не ослабевало и чтобы проволока шла не слишком туго, так как в последнем случае может произойти разрыв проволоки.

Как только наложено необходимое количество витков проволоки, бандаж у начала и конца пропаивают оловом, обе крайние замочные скобы загибают и пропаивают, после чего проволока у обоих концов откусывается. Затем бандаж пропаивают по всей окружности, причем для лучшей пропайки его предварительно промазывают парафином. Попутно с пропайкой проволоки все замочные скобы подгибаются и

также пропаиваются. Пропайка должна быть тщательная, на бандаже не должно быть наплывов олова: они удаляются горячим паяльником или спиливаются пилой, но спиливание следует производить осторожно, чтобы не повредить проволоки. Диаметр окружности налагаемого бандажа не должен быть больше диаметра железа, т. е. бандаж не должен выступать за пределы железа якоря.

Приведем несколько примеров выполнения различных бандажей.

На рис. 182 был показан якорь с четырьмя бандажами. Бандаж выполняется из стальной луженой проволоки, диаметром 0,5 *мм*. Под бандажом на лобовых частях накладывается для изоляции от обмотки бандажа полоска прессшпана, толщиной 0,5 *мм* и шириной на 10 *мм* более ширины бандажа. По окружности каждого бандажа расположено по четыре бандажных скобы, нарезанных из луженой белой жести, толщиной 0,2—0,3 *мм*, шириной 30 *мм* и длиной на 10 *мм* более ширины бандажа — по 5 *мм* на односторонний загиб.

На железе якоря бандажи выполняются следующим путем: по дну выточек в якоре прокладывается изоляция из прессшпановой полоски, имеющей ширину выточки и толщину 0,3 *мм*, а поверх нее накладывается бандажная проволока.

Ширина бандажа обусловливается шириной выточки. Здесь замочные скобы делаются шириной на 2 *мм* менее толщины верхней части зубца железа и такой длины, чтобы на загиб с обеих сторон оставалось по 3—4 *мм*. Замки располагаются так, чтобы они пришлись на железо якоря (на его зубцы), но ни в коем случае не на его обмотку. При неправильном наложении замков, можно повредить изоляцию пазовой части.

Наложенные и запаянные бандажи в выточках не должны быть выше железа якоря.

На рис. 331 показаны бандажи якоря, выполненные из бронзовой луженой проволоки в два слоя.

Во избежание сильных нагревов бандажа от токов Фуко между слоями прокладывается асбестовое полотно по всей окружности. На каждом слое бандажа расположены по всей окружности четыре замочные скобы, нарезанные из луженой красной меди, толщиной 0,5 *мм*, шириной 20 *мм* и длиной на 10 *мм* шире бандажа.

Как и в предыдущем случае, под бандажи на лобовую часть обмотки накладывается изоляция, состоящая из гибкого миканита (снизу), толщиной 0,5 *мм*, поверх прессшпана, толщиной 0,5 *мм*. Ширина изоляции должна быть шире накладываемого бандажа на 10 *мм*. Полосы миканита и прессшпана накладываются встык со смещением стыков. Бандажные скобы накладываются на прессшпановую изоляцию. Каждый слой бандажа при наложении пропаивается самостоятельно.

Бандажи на якорях быстроходных машин, обмотка которых подвержена действию больших центробежных усилий, выполняются несколькими отдельными рядами. На рис. 399 показан якорь с такими бандажами. На лобовых частях обмотки с передней стороны накладываются три бандажа: один — по нижнему ряду секций обмотки и два — по верхнему ряду. На задней стороне накладывают четыре бан-

дажа: один — на уравнительные соединения, второй — по нижнему ряду секций обмотки и остальные два — по верхнему ряду.

Бандажи для обеих сторон наполняются из бронзовой проволоки. Число слоев бандажей следующее: бандаж на уравнительных соединениях имеет два слоя, бандажи на нижних секциях — по три слоя, а на верхних — по четыре слоя.

Наложение бандажа в этом случае производится в направлении от концов уравнительных соединений к железу якоря в противоположность обычному выполнению, когда бандаж накладывается по направлению от железа якоря. Этим способом достигается лучшее прижатие уравнителей к обмоткодержателю. Снимая временные бандажи, наложенные на уравнительные соединения при укладке, на их место накладывают полосу гибкого миканита, толщиной 1,5 *мм*. Концы полос накладываются внахлестку, причем в месте соединения края миканита должны быть срезаны на-нет, чтобы не получилось утолщения.

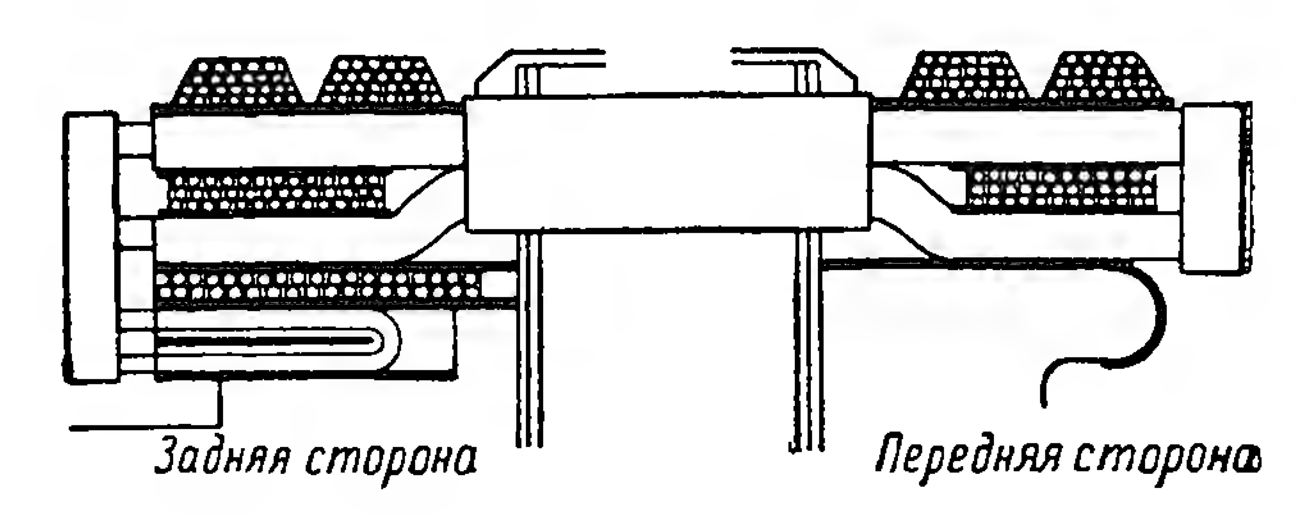


Рис. 399. Бандажи на обмотке.

Поверх миканита прокладывают две замочные скобы для начала и конца проволоки и две бандажные скобы — ограничители (между первыми двумя). Расположение скоб по окружности бандажа показано схематично на рис. 400. Конец бандажной проволоки закрепляют на уравнительных соединениях петлей и наматывают три — четыре дополнительных витка, которые будут сняты после наложения бандажа. Дополнительные витки пропаивают и после этого приступают к наложению нормального бандажа.

При намотке бандажа каждые 10 витков проволоки изолируются друг от друга асбестовым полотном во избежание больших нагревов бандажа при работе машины. Намотав первый слой бандажа, его пропаивают и закрепляют первый замок. После этого снимают дополнительные витки. Поверх пропаянного первого слоя бандажа накладывается второй слой, в котором также каждые десять витков проволоки изолируются друг от друга асбестовым полотном, а верхний слой изолируют от нижнего путем наложения асбестового полотна по окружности всего первого слоя.

Наложение обоих слоев бандажа производится одной проволокой, т. е. после наложения нижнего слоя проволока не отрезается, и наложение верхнего слоя ведется от железа к концам, т. е. в обратную сторону. Наложив верхний слой, все замочные скобы загибают, весь бандаж пропаивают оловом вместе со скобами и зачищают от острых

углов и наплыва олова, и якорь передается для дальнейших операций.

Наложение бандажа по нижнему ряду секций выполняется одинаково как с передней, так и с задней стороны якоря. По всей окружности на лобовую часть секций накладывается полоса гибкого миканита, толщиной 1,5 *мм* и шириной на 10 *мм* больше ширины бандажа. Бандаж выполняется из трех слоев проволоки, как показано на рис. 401. Здесь также каждые десять витков проволоки каждого слоя изолированы друг от друга асбестовым полотном. На том же рис. 401 показана схема расположения двух бандажных замков (у начала и конца проволоки) и бандажных скоб — ограничителей; каждый слой имеет по две ограничительные скобы. Замочные скобы и ограничители выполняются из красной луженой меди, толщиной 0,5 *мм* и шириной 10—15 *мм*.

Проволока при намотке закрепляется за деревянный клин, вбиваемый в один из пазов якоря. Бандаж накладывается по направлению

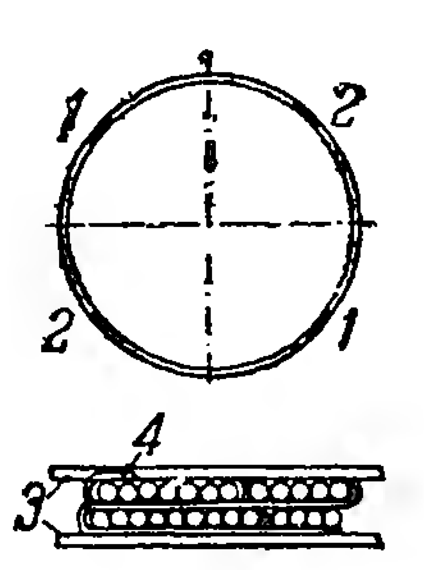


Рис. 400. Расположение скоб бандажа на уравнителях.

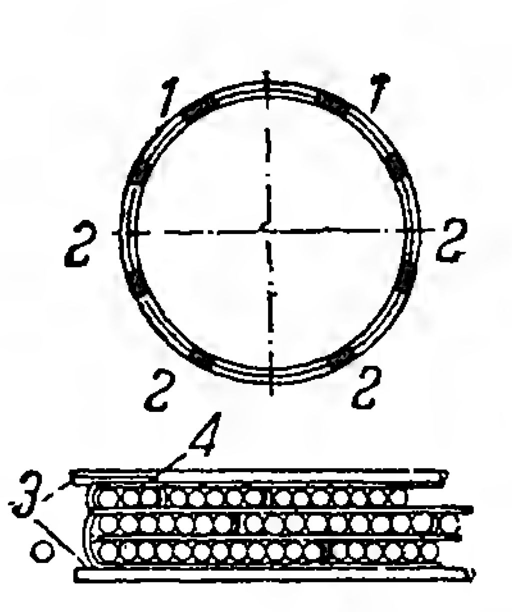


Рис. 401. Схема бандажа на нижних полусекциях.

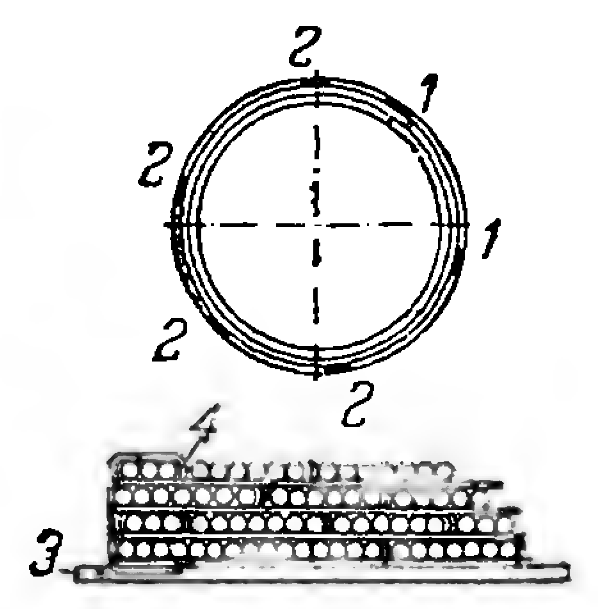


Рис. 402. Схема бандажа на верхних полусекциях:

1 — замок; *2* — бандажная скоба; *3* — миканит; *4* — асбестовое полотно.

от железа якоря к концу лобовых частей. Все три слоя бандажа накладываются одной проволокой без отрезания ее после наложения каждого слоя. Все операции по наложению бандажа (запайка, загиб скоб) аналогичны описанным выше. По окончании бандажировки якорь подается для наложения изоляции на бандаж и вкладку обмотки верхнего слоя.

Выполнение бандажа по верхнему ряду секций одинаково с обеих сторон якоря. В этом случае бандаж состоит из двух бандажей, независимых друг от друга. Каждый бандаж выполнен в 4 слоя, изолированных друг от друга асбестовым полотном и отдельно пропаянных. По каждой паре слоев установлены по два замка и по шесть ограничительных скоб, как показано на рис. 402.

На лобовых частях под бандаж по всей окружности подкладывается изоляция из полосы гибкого миканита такой ширины, чтобы она покрывала весь вылет лобовой части обмотки до хомутиков на задней стороне якоря и до петушков на передней. Процесс наложения бандажей аналогичен описанным выше. Первым выполняется бандаж,

лежащий ближе к железу якоря. Наложение бандажа по верхнему слою ведется после запайки и обрезки концов обмотки.

После наложения бандажей по верхнему ряду обмотки якорь поступает на испытание на корпус и витковое и далее на просушку и пропитку лаками.

У якорей, имеющих соединение обмотки с коллектором при помощи хомутиков с хвостиками, обычно ставится по два однослойных бандажа: один — на лобовой части и второй (малый) — на хомутиках (см. рис. 183).

По окружности лобовой части на изоляцию под бандаж, которая состоит из миканита, толщиной 0,5 *мм*, и прессшпана той же толщины, накладываются две замочные скобы и десять ограничительных скоб. Большой бандаж из стальной проволоки ставится, отступя на 20—25 *мм* от внутреннего края петушка со стороны коллектора и на такое же расстояние от хомутика с задней стороны якоря.

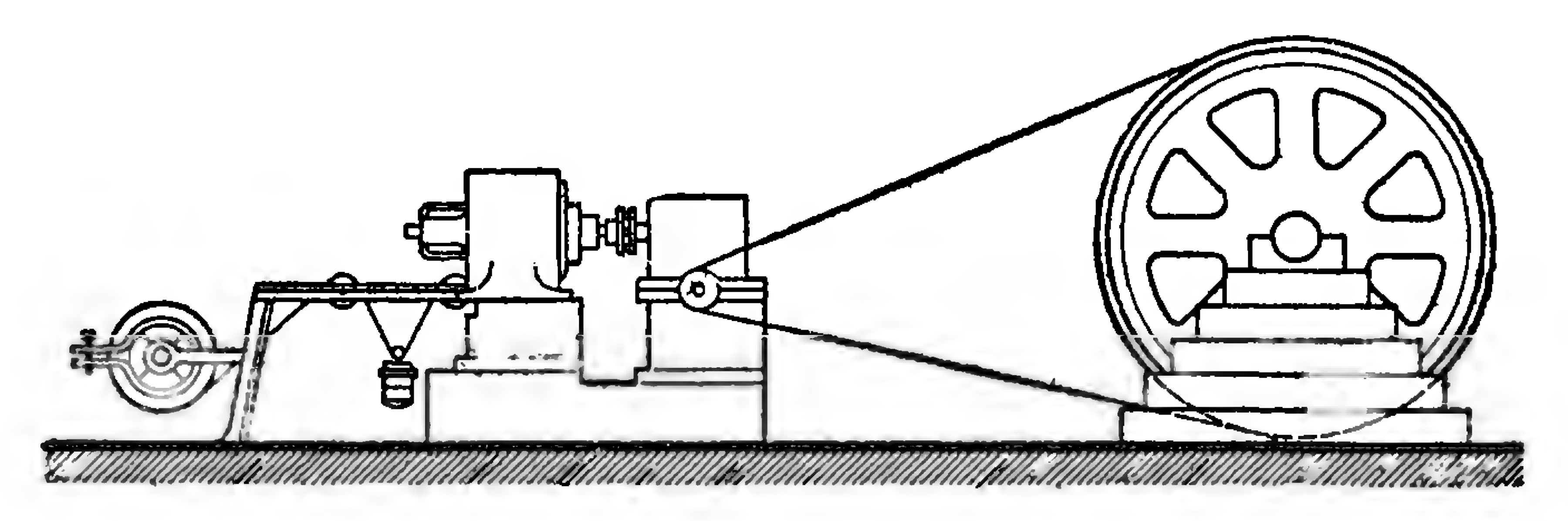


Рис. 403. Установка для бандажировки.

Установив большой бандаж, загибают все скобы, кроме четырех, предназначенных для удержания малого бандажа. После этого приступают к наложению бандажей на хомутики. Перед тем как ставить бандажи на хомутики, с обеих сторон якоря, для лучшей изоляции хомутиков от бандажа и друг от друга, на каждый первый, третий, пятый, седьмой и т. д. хомутики надевают колпачки из прессшпана. По окружности хомутиков и петушков накладывают изоляцию из полос гибкого миканита, толщиной 0,20 *мм*, и прессшпана, толщиной 0,5 *мм*, а шириной на 5 *мм* более хомутика. На изоляцию накладываются четыре скобы от большого бандажа и еще четыре скобы, после чего накладывают бандаж на хомутики. Материалом для замочных скоб служит белая луженая жесть.

Наложение бандажей ведется аналогично описанному выше.

Что касается бандажировки роторов, то производственные процессы ее аналогичны бандажировке якорей.

Бандажировку крупных роторов и якорей обычно ведут так, как показано на рис. 403. Ротор вращают от мотора при помощи червячной передачи.

На валу червячной передачи имеется шкив, от которого перекидывается ремень на железо ротора. Натяжение проволоки осуществляется при помощи устройства, описанного нами выше.

Якорь или ротор устанавливается на двух деревянных стелюгах.

Мелкие якори машин постоянного тока имеют веревочные бандажи, а наложение бандажей ведется вручную.

ГЛАВА XIV

СУШКА И ПРОПИТКА ОБМОТОК

1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Некоторые изоляционные материалы, например хлопчатобумажные ленты, прессшпан, летероид и др., имеют существенный недостаток — способность впитывать в себя влагу из окружающей среды (воздуха). Такое свойство изоляционных материалов называется г и г р о с к о п и ч н о с т ь ю.

Влага, являясь проводником, чрезвычайно понижает электрическую прочность изоляции и служит одной из основных причин соединения обмоток машин с корпусом (корпусное соединение) или же соединения витков между собой (витковое соединение).

Для удаления влаги, уже имеющейся в изоляции, и для предотвращения возможности попадания в нее влаги из окружающего воздуха изоляция подвергается пропитке. Процесс этот сводится к следующему.

1. Обмотанный якорь подвергается предварительной сушке в печи для удаления влаги из изоляции обмотки.
2. Просушенная изоляция пропитывается изолирующим составом.
3. Пропитанная изоляция вторично просушивается.

Пропитывая и просушивая изоляцию, достигают следующего:

1) удаляют влагу из изоляции и заполняют поры и пустоты в ней хорошим изолирующим составом;

2) после высыхания растворителей получают влагонепроницаемую защитную пленку;

3) через пропитанную изоляцию происходит лучшая отдача тепла в окружающий воздух.

2. ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ПРОСУШКИ И ПРОПИТКИ

На заводе «Электросила» им. С. М. Кирова имеются сушильные печи двух видов. Для крупных якорей роторов и статоров имеется печь, размером 5×6×4 *м*. Она представляет собой железную двухстенную камеру, простенки ее для изоляции заполнены асбестом. Внутри с трех сторон расположены змеевики, обогреваемые паром.

В верхней части печи имеется труба с заслонкой для удаления влажного воздуха и испарений, отсасываемых вентилятором, приводимым в действие электродвигателем. Передняя стенка печи поднимается краном, и крупные якори, установленные на вагонетки, вдвигаются в печь. Для контроля просушки и осмотра в передней стенке печи имеется дверца.

Второй вид печи представлен на рис. 404; она предназначена для просушки небольших якорей и катушек и представляет собой двух-

стенный шкаф, высотой 2 *м*, шириной 1 *м* и длиной 3 *м*. Стенки шкафа *3* изолированы асбестом. Внутри шкафа, на дне его, расположены змеевики *1*, которые обогреваются паром. Загрузка шкафа производится сверху; для этого вверху шкафа имеется крышка *5*, плотно прижимающаяся двумя барашками *4* для создания герметичности. Для удаления влаги имеется выходная труба *2*, через которую производится отсасывание. Крышка имеет противовес *7*; в крышку вставляется для контроля температуры термометр *6*.

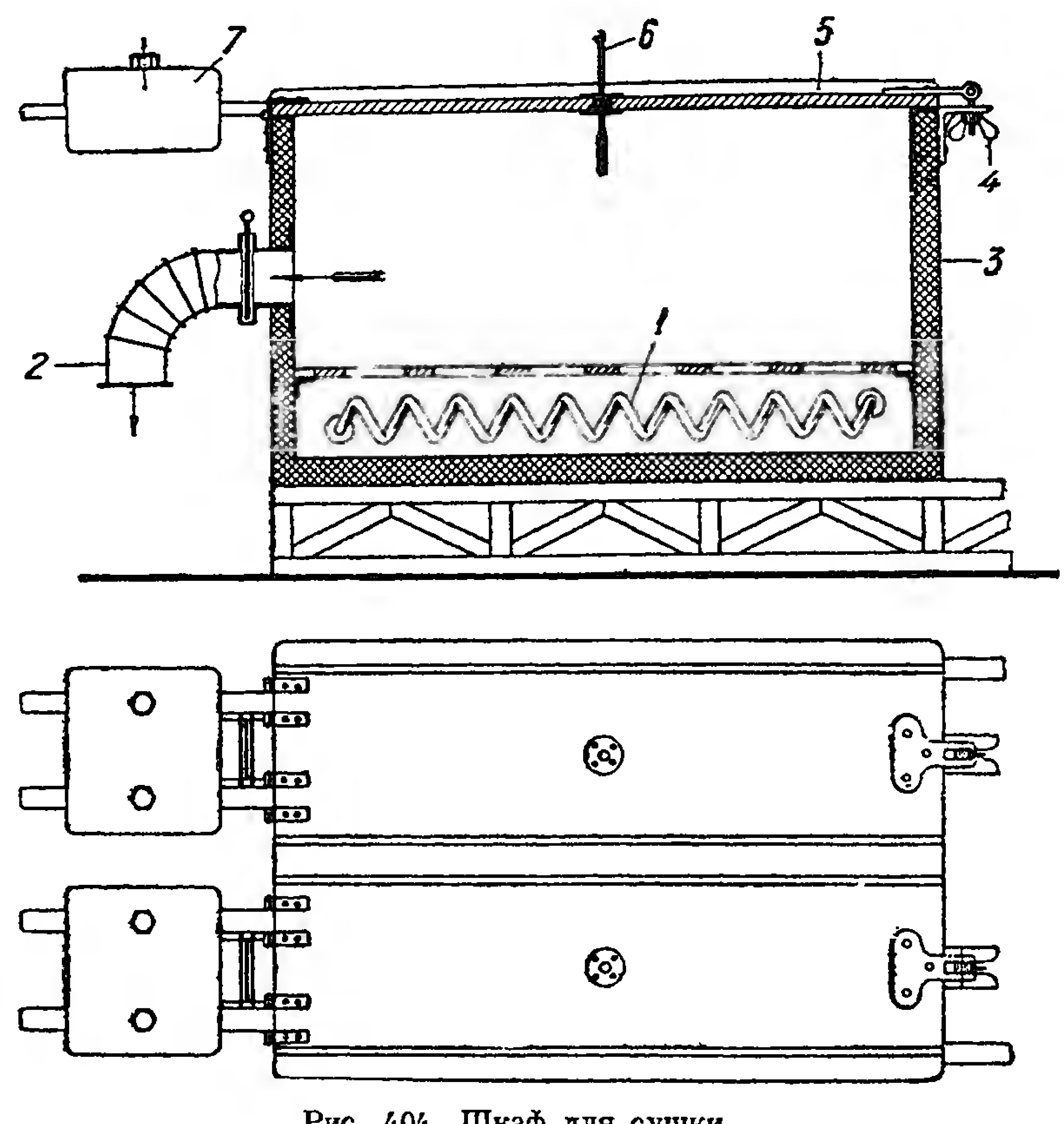


Рис. 404. Шкаф для сушки.

На ХЭТЗ сушка производится в тоннельных печах (рис. 405) горячим воздухом, подогреваемым в парокалорифере, включенном в паровую сеть местной ТЭЦ. Температура воздуха в печи 90—110° С.

Нагретый в калориферах воздух эксгаустером подается в печь сверху. Внизу, по бокам печи, расположены вытяжные трубы, возвращающие отработанный воздух в калорифер. На рис. 405 сплошной линией со стрелками указан путь сухого воздуха, а пунктиром — отработанный.

На ХЭТЗ имеется несколько групп таких печей. После нескольких пропиток якори поступают на сушку в одну из печей 2-й группы.

Таким образом поступают для избежания встречных производственных потоков в процессе сушек.

3. ПРОСУШКА ОБМОТОК ЯКОРЕЙ И РОТОРОВ

После испытаний ротора или якоря на корпус он поступает в печь, нагреваемую паром, и там просушивается при температуре 100—110° С в течение 8 часов (в зависимости от габаритов). По истечении 8 часов ротор или якорь вытаскивают из печи и для определения степени просушки его обмотки измеряют сопротивление ее изоляции. Измерение производится меггером.

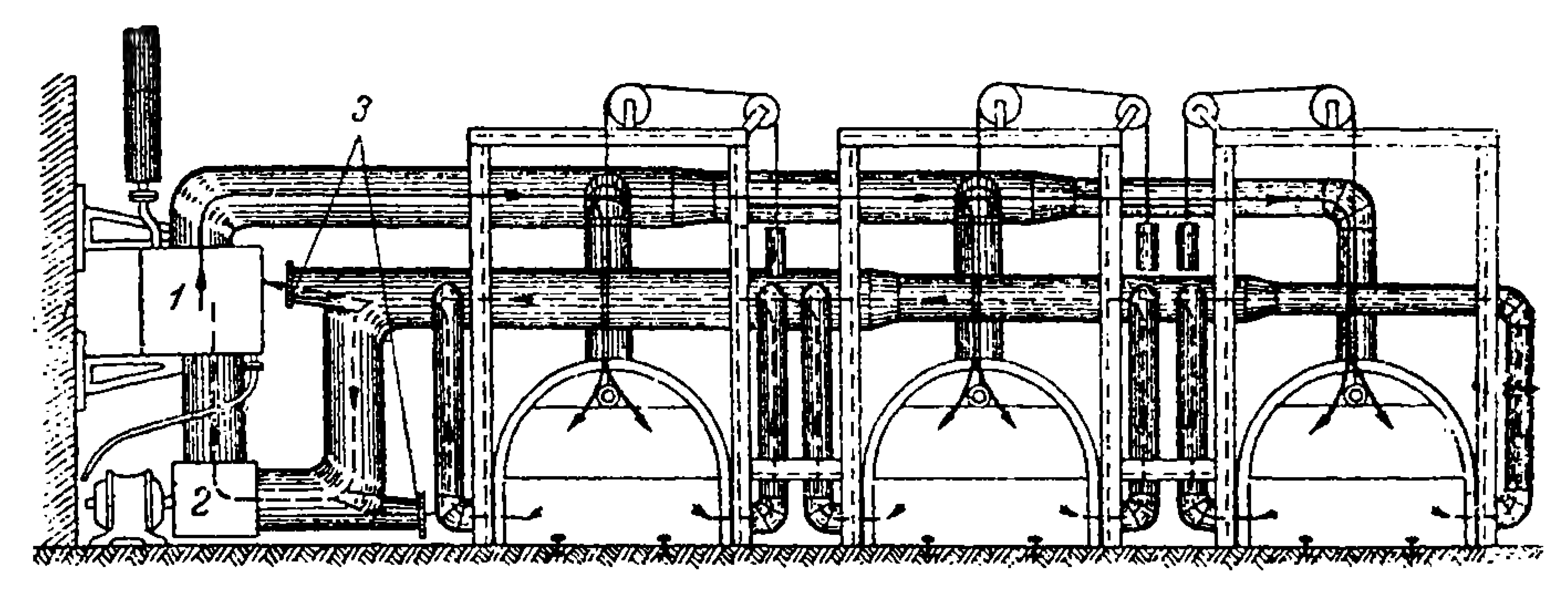


Рис. 405. Сушильная печь.

Сопротивление изоляции обмотки после просушки в горячем состоянии при температуре ротора 80—100° С должно быть в пределах 2—5 МΩ. Если измерение покажет меньшую величину, обмотку подвергают дополнительной просушке. Если сопротивление изоляции достаточно, то обмотка подвергается пропитке.

4. ПРОСУШКА ОБМОТОК СТАТОРОВ

Просушка в печи для статоров, обмотка которых компаундируется, производится в течение 4 часов, а для статоров, обмотка которых не компаундируется, — в продолжение 8 часов (в зависимости от результатов сушки).

После просушки изоляции обмотки статоров также измеряются меггером. Показание меггера для хорошо просушенного статора должно быть в пределах 10—20 МΩ.

5. ПРОПИТКА ОБМОТОК ЯКОРЕЙ И РОТОРОВ

Обмотка ротора (якоря), если он предназначен для работы в сухом помещении, пропитывается один раз лаком печной сушки № 319 завода «Красный маляр» или № 842 (ХЭТЗ).

Лак растворяется в бензине и бензоле в следующих пропорциях: 2 весовые части лака, 3 весовые части бензина и 2 части бензола. Удельный вес растворенного лака, измеряемый ареометром (прибор для измерения удельного веса жидкостей), должен быть 0,81—0,82 при 15° С.

Просушенный ротор или якорь в горячем состоянии погружается в бак с пропитывающим составом и выдерживается в нем 10—15 минут. Затем ротор извлекают из бака, дают стечь излишку лака, укладывают его на тележку и направляют в печь для просушки. Если по своему размеру он не помещается в бак, его покрывают лаком из пульверизатора. Пропитываемый ротор или якорь подвергается просушке до тех пор, пока сопротивление изоляции его обмотки, измеряемое в горячем состоянии при температуре 90° С, будет не менее 5 MΩ.

После просушки ротор (якорь) в горячем состоянии весь покрывается быстросохнущим лаком воздушной сушки — армалаком № 316. Ему дают остыть, а армалаку — просохнуть, после чего измеряют в холодном состоянии сопротивление изоляции обмотки, которое должно быть не менее 60—80 MΩ.

Для машин, работающих в сырых помещениях, пропитка обмотки делается более усиленной. В этом случае обмотку пропитывают в лаке печной сушки три раза и после каждого раза просушивают в печи.

После последней пропитки и просушки сопротивление изоляции обмотки при температуре 90—100° С должно быть не менее 10—15 MΩ. После третьей пропитки и просушки якорь в горячем состоянии покрывается подряд два раза защитным покровным армалаком. В холодном состоянии измеряют сопротивление изоляции обмотки, которое при измерении меггером должно быть очень большим (меггер должен показывать бесконечность).

Просушка и пропитка обмоток возбуждения (шунтовых катушек) производятся аналогично указанному.

Пропитка якорей машин постоянного тока на ХЭТЗ производится лаком № 447, который состоит из лаков № 458 и 460 по 50%. Пропитка ведется при температуре якоря 100° С.

Пропитка производится при следующих режимах:

а) двухкратная пропитка:

	1-я пропитка	2-я пропитка
Предварительная сушка	6 час.	6 час.
Пропитка	30 мин.	35 мин.
Сушка после пропитки	8 час.	9 час.

б) трехкратная пропитка:

	1-я пропитка	2-я пропитка	3-я пропитка
Предварительная сушка	6 час.	6 час.	6 час.
Пропитка	30 мин.	12 мин.	6 мин.
Сушка после пропитки	8 час.	9 час.	10 час.

После сушки лобовые части обмотки покрываются серой изоляционной эмалью № 2463 производства ХЭТЗ. Эмаль высыхает на воздухе.

ОТДЕЛ ЧЕТВЕРТЫЙ

ИСПЫТАНИЯ И ПЕРЕМОТКА ОБМОТОК

ГЛАВА XV

ПРОВЕРКА И ИСПЫТАНИЕ ОБМОТОК

1. ОБ ИСПЫТАНИИ ОБМОТКИ ЯКОРЯ

Каждый намотанный якорь в процессе работы на всех электромеханических заводах подвергается проверке на правильность его соединения по схеме и на электрическую прочность изоляции обмотки по отношению к корпусу. Наматываемый якорь трижды подвергается испытанию на корпусное соединение. Первый раз — после вкладки обмотки в пазы, второй раз — после запайки концов обмотки и наложения бандажей и третий раз — после пропитки, просушки и обточки коллектора.

Величина испытательного напряжения в первых двух случаях берется 3000 V для всех якорей мощностью свыше 3 kW с рабочим напряжением машины от 110 до 500 V. При третьем испытании величина испытательного напряжения понижается до 2500 V. Продолжительность испытания — 1 минута. Указанные три испытания являются нормами внутризаводского испытания изоляции обмотки на электрическую прочность (применяются на заводе «Электросила» им. С. М. Кирова).

В процессе выполнения обмотки якоря производится проверка на правильность соединения обмотки с коллектором и запайки обмотки, что также выполняется три раза. Первый раз — после укладки концов обмотки в шлицы коллекторных пластин или петушков. Эта проверка производится контрольной лампой. Второй раз — после припайки обмотки к коллектору. Эта проверка состоит в испытании на витковое и на правильность пайки и соединения. Третья (окончательная) проверка — после окончательной просушки обмотки якоря и проточки коллектора.

Проверка обмоток на электрическую прочность (на корпус) изоляции производится переменным током высокого напряжения нормальной частоты 50 Hz. Испытание обмоток на витковое производится переменным током нормальной частоты 50 Hz и переменным током повышенной частоты порядка 1000 Hz, а также и постоянным током, напряжением 110 или 220 V.

Для проверки и испытания обмоток на электрическую прочность применяются высоковольтные трансформаторы, с помощью которых можно получить любые испытательные напряжения. В цепь трансформатора включаются измерительные приборы — вольтметр и ампер-

метр, а для плавной регулировки напряжения применяются реостаты или потенциальные регуляторы.

Для проверки обмотки якоря на витковое применяются электромагниты, которые питаются переменным током нормальной частоты.

Проверку постоянным током производят с помощью точных измерительных приборов системы Депре д'Арсонваля.

2. ДЕФЕКТЫ ОБМОТКИ ЯКОРЯ И ПРИЧИНЫ ИХ ПОЯВЛЕНИЯ

Корпусные соединения. Повреждение изоляции обмотки, ее соединение с корпусом (железными частями якоря) происходят по следующим причинам.

1. Слабость изоляции — присутствие влаги в изолирующих материалах; сильное вытягивание изоляционной ленты при наложении изоляции; присутствие в миканите или микафолии металлических включений (слюда часто содержит соли металлов или их окиси).

2. Механические повреждения — присутствие в пазах металлических стружек, опилок; острые углы железа и заусенцы; повреждение изоляции в процессе вкладки ее, при рихтовке и осадке обмотки в пазы (небрежное отношение к работе).

Витковые соединения. Эти соединения происходят по следующим причинам.

1. Повреждение изоляции витков при рихтовке и осадке обмотки в лобовых частях.

2. Перемещения отдельных витков во время опрессовки пазовой части. В таких случаях проводники продавливают изоляцию соседних проводников, создавая тем самым соединение между витками.

3. Небрежная запайка концов обмотки с хомутиками или коллекторными пластинами. Олово, попадая между пластинами коллектора или между отдельными концами секций, соединяет их между собой. Этому часто способствует присутствие в сплаве для пайки посторонних составных частей, например сурьмы, которая делает сплав очень жидким и подвижным в расплавленном состоянии.

4. Появление «мостиков» (затяжек) от пластины к пластине на коллекторе при обточке его тупым резцом или при большой подаче. Мостики часто появляются, когда миканит (изоляция между пластинами) бывает слабо спрессован. Иногда мостики заметны простым глазом при поверхностном осмотре и устраняются пропилкой их специальной ножовочной пилкой. Эта операция называется продорожкой коллектора.

5. Витковое соединение может получиться после пробоя изоляции на корпус.

6. Прочие механические повреждения изоляции проводников при транспортировке, а также при сборке.

Обрывы обмотки. Обрывы обмотки происходят вследствие плохой пайки концов обмотки с пластинами коллектора или с петушками.

Перепутанность соединений концов обмотки с коллекторными пластинами. Этот дефект вызывается наличием крестов ординарных, двойных и т. д., а также встречных соединений.

3. ИСПЫТАНИЯ НА ВИТКОВЫЕ СОЕДИНЕНИЯ ОБМОТКИ ЯКОРЯ

Для испытания обмоток якорей в производстве широко применяются испытательные электромагниты. На рис. 406 показан такой электромагнит, сердечник которого состоит из двух полюсов. Полюсы на концах закруглены, чтобы можно было при испытании лучше охватить потоком обмотку якоря. На сердечнике имеется обмотка, состоящая из большого числа витков.

Электромагниты изготовляются так, чтобы их можно было применять для испытания якорей машин различных габаритов. С этой целью электромагниты делаются раздвижными.

На рис. 407 показан испытательный электромагнит, между полюсами которого находится испытуемый якорь. Концами вала он опирается на две подставки, устроенные так, что они могут передвигаться горизонтально и вертикально. Полюсы электромагнита устроены так, чтобы охватить обмотку якоря по шагу и чтобы зазор между ними и железом якоря был не более 5—7 *мм*.

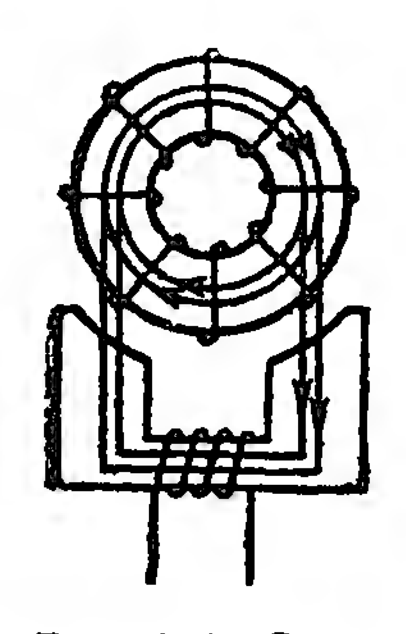


Рис. 406. Схема испытательного магнита.

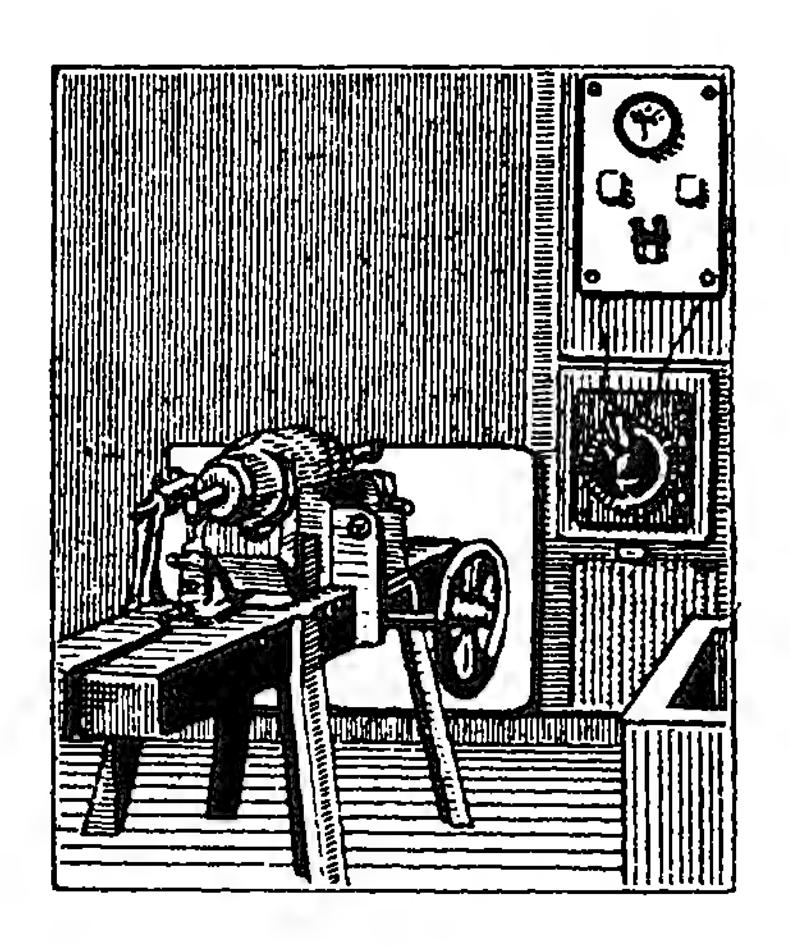


Рис. 407. Вид испытательного электромагнита.

Обмотка электромагнита питается переменным током нормальной частоты (50 Hz), а также повышенной частотой (500—1000 Hz), который создает переменное магнитное поле, идущее от полюсов магнита в железо якоря и пересекающее его обмотку. Магнитные силовые линии поля, пересекающие обмотку якоря , создают э. д. с. которая при отсутствии витковых уравновешивается в обмотке якоря.

Если же в обмотке имеются витковые соединения, т. е. замыкания витков в секции, или замыкания между коллекторными пластинами, то в витках, замкнутых накоротко, потечет ток большой силы и вызовет нагрев этой секции.

Витковые соединения можно обнаружить и следующим образом.

При витковом соединении магнитный поток создается в зубцах якоря, между которыми имеется дефектная секция *A*. Если к этим зубцам приложить железную пластинку *B*, как показано на рис. 408, то она намагничивается и притягивается к зубцам якоря.

Для определения витковых соединений вместо железной пластинки

иногда пользуются телефоном. Концы телефона *T* (рис. 409) присоединяются к обмотке *S* небольшого сердечника *M*, в котором при витковом соединении возникает поток, вызывающий гудение в телефоне.

Якорь при испытании вращается и подходит к сердечнику *M* то одним, то другим своим пазом. Если в якоре нет виткового соединения, то в телефонной трубке слышится равномерное гудение. Если же в каком-либо пазу якоря имеется секция с короткозамкнутым витком *A* и якорь этим пазом подойдет под электромагнит *M*, то в телефонной трубке послышится резкий звук. По этому звуку и устанавливают витковое соединение.

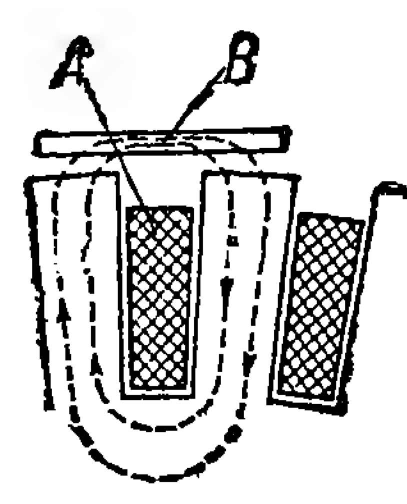


Рис. 408. Определение замкнутых витков.

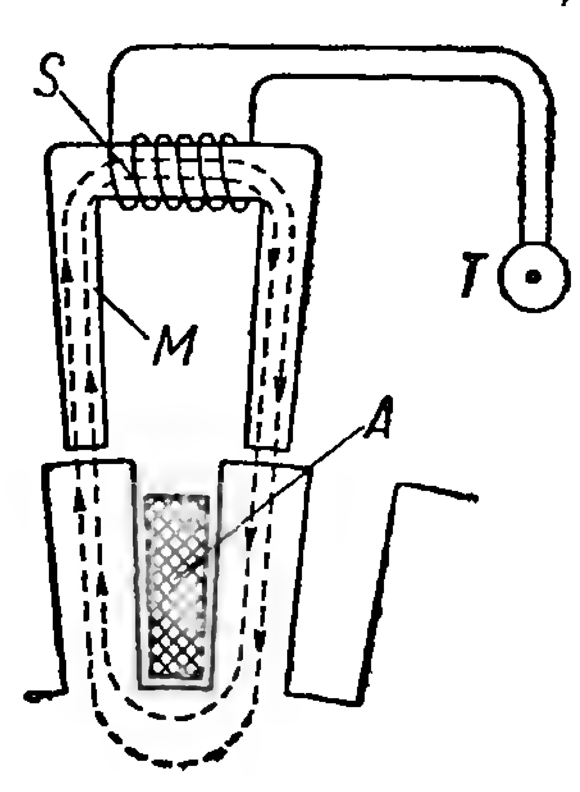


Рис. 409. Сердечник с катушкой и телефоном.

Метод испытания и проверки посредством электромагнита имеет свои недостатки. Например его можно применять лишь для якорей небольших габаритов. Пользуясь им, нельзя определить неправильность соединения обмотки якоря с коллектором, плохой контакт между концами обмотки и коллекторными пластинами, петушками и т. д. Другие способы, приводимые ниже, не имеют указанных недостатков, но они более кропотливы.

4. ПРОВЕРКА ОБМОТКИ ЯКОРЯ МЕТОДОМ ПАДЕНИЯ НАПРЯЖЕНИЯ

Для проведения испытания указанным методом в обмотку якоря пропускают из сети постоянный ток (см. рис. 410), причем силу его регулируют реостатом. Подав ток в обмотку якоря через коллекторные пластины, милливольтметром измеряют падение напряжения между каждыми двумя рядом лежащими коллекторными пластинами, касаясь концами проводников от милливольтметра.

При производстве испытаний провода, подводящие ток к якорю, постепенно передвигаются по коллектору.

При отсутствии каких-либо дефектов все показания милливольтметра должны быть одинаковыми. Если же показание прибора при соприкосновении его проводников с парой коллекторных пластин будет отличаться от остальных показаний, это указывает на неисправность части обмотки, заключенной между данными пластинами.

При испытании петлевой обмотки подача тока может быть выполнена так, как показано на рис. 410, т. е. ток должен быть подведен к двум диаметрально-противоположным точкам или к точкам коллектора, соответствующим полюсному делению. При испытании волновой обмотки ток подводится к двум точкам, отстоящим друг от друга на величину полюсного шага или же немного менее его.

Если при исследовании исправного якоря милливольтметр присоединить к двум смежным пластинам, а один из подводящих ток прово-

дов перемещать вдоль коллектора, то при петлевой обмотке прибор будет отклоняться все время в одном направлении; при волновой обмотке стрелка прибора будет отклоняться в обратном направлении, как только передвигаемый провод пройдет шаг по коллектору, причем число таких перемен будет равно числу пар полюсов машины.

Рассмотрим теперь применение метода падения напряжения к распознаванию различных дефектов в обмотках якорей.

При замыкании между испытуемыми пластинами (затяжки (мостики) или же витковое соединение) показания милливольтметра будут меньше, чем на других пластинах, не имеющих замыкания. Это относится к петлевым обмоткам.

Необходимо отметить, что при волновых обмотках будет по окружности коллектора несколько мест с небольшими отклонениями стрелки прибора, но дефект (витковое) будет там, где прибор даст наименьшее отклонение.

Число мест с небольшими отклонениями будет равно числу пар полюсов, так как эти места отстоят друг от друга на шаг по коллектору.

При плохом соединении концов обмотки с пластинами коллектора, а также при плохом соединении концов с хомутиками или с петушками, прибор, приключенный к соответствующим коллекторным пластинам, дает большие отклонения против нормальных.

При испытании якоря на плохой контакт следует иметь в виду, что при наличии обрыва милливольтметр окажется включенным на полное напряжение, подводимое к якорю. Для того чтобы не сжечь прибор, рекомендуется уменьшить силу тока до минимальной величины.

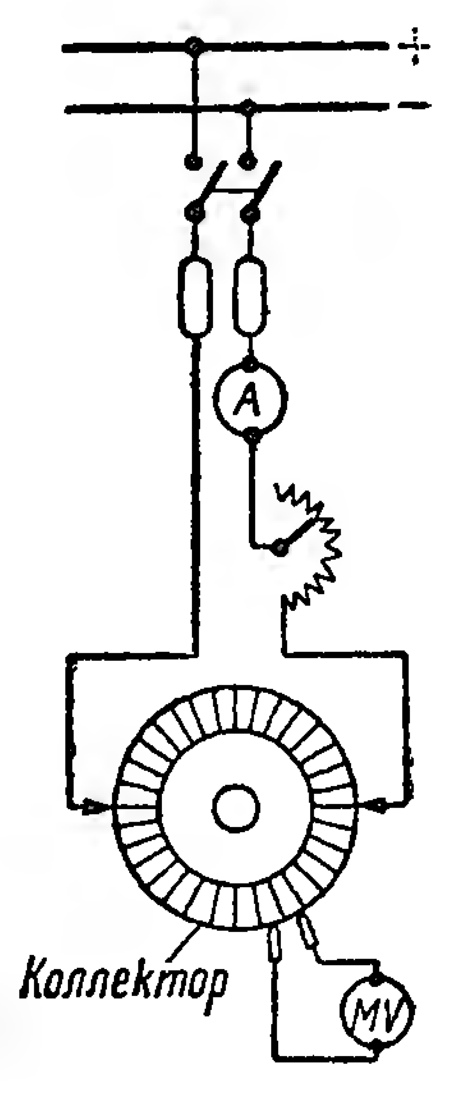


Рис. 410. Схема испытания обмотки якоря на витковое.

В случае петлевой обмотки и при наличии нескольких мест с плохим контактом милливольтметр дает такое же число наибольших отклонений. При волновой обмотке и наличии плохого контакта на коллекторе будет несколько мест, отстоящих на расстоянии шага по коллектору, где милливольтметр даст большие показания. Неисправность будет там, где получится наибольшее отклонение прибора.

При обрыве в петлевой обмотке показания милливольтметра будут наибольшими, если концы его проводников соприкасаются с пластинами коллектора, между которыми имеется обрыв. Это обстоятельство надо учесть, и, чтобы не сжечь прибор, в якорь, как уже указывалось ранее, следует дать минимальный ток. Если в проверяемой части обмотки произошел обрыв, то прибор дает показания только при соприкосновении с теми пластинами, где имеется обрыв. При соприкосновении же с остальными пластинами прибор не даст показаний.

При обрыве в волновой обмотке прибор будет давать большие отклонения в нескольких местах, отстоящих на расстоянии коллекторного шага. Наибольшее из этих отклонений будет у тех пластин, между которыми имеется обрыв.

При проверке следует также принимать меры к ограждению прибора от порчи.

При неправильном присоединении к коллектору концов обмотки, т. е. при их перекрещивании («крест»), стрелка прибора отклонится в обратную сторону при соприкосновении проводников прибора с дефектным местом. Если же обратное отклонение стрелки прибора будет наблюдаться при волновой обмотке периодически, через число пластин, соответствующее коллекторному шагу, то это — явление нормальное.

5. ПРОВЕРКА ОБМОТОК ЯКОРЯ С УРАВНИТЕЛЯМИ (ЧАСТИЧНАЯ ПОДАЧА ТОКА В ОБМОТКУ ЯКОРЯ)

Схема этого метода испытания была показана на рис. 365. Щупами 6 касаются поочередно двух рядом лежащих коллекторных пластин. Сила тока устанавливается с помощью реостата 2. Отклонения стрелки милливольтметра для каждой пары пластин одинаковы при наличии правильного соединения концов обмотки.

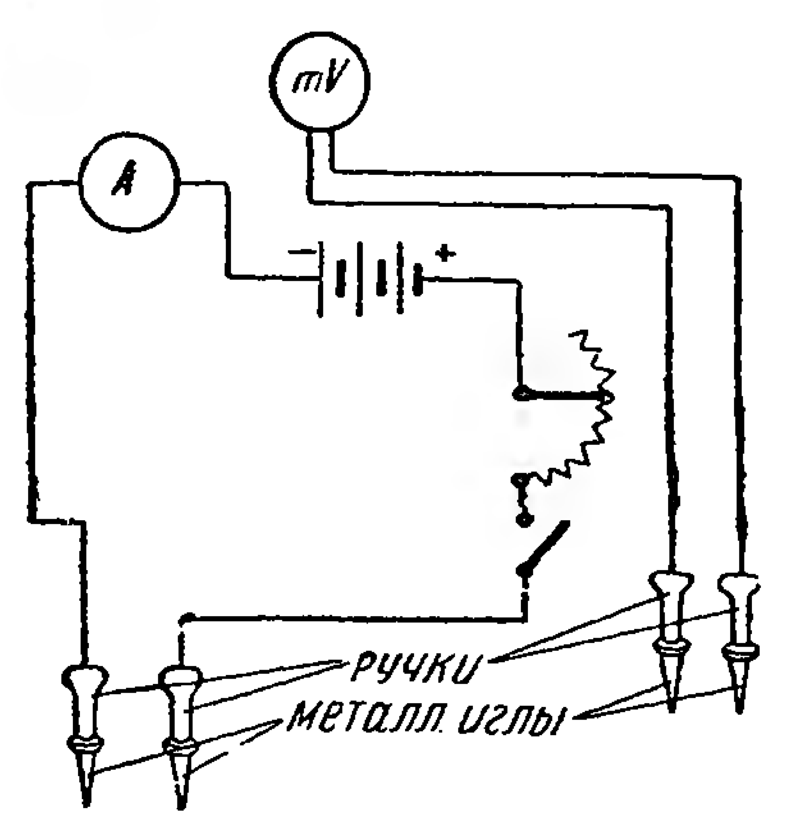


Рис. 411. Схема испытания на витковое посредством четырех щупов.

Если не имеется специальных щупов, показанных на рис. 365, то проверку обмотки с уравнительными соединениями можно произвести четырьмя обыкновенными щупами. На рис. 411 дана принципиальная схема включения четырех щупов: два из них идут от батареи аккумуляторов, причем ток от батареи проходит к щупам через реостат для уменьшения силы тока и через амперметр. Два других щупа присоединяются к милливольтметру.

Самая проверка производится следующим образом. Щупами от батареи касаются двух рядом лежащих пластин и тем самым подают ток в обмотку. Щупами от милливольтметра касаются этих же пластин и наблюдают за стрелкой прибора. Сила тока, подаваемого в якорь, подбирается такой, чтобы отклонения стрелки милливольтметра можно было легко наблюдать.

Все дефекты в петлевых и волновых обмотках, как витковые соединения и обрывы, легко обнаружить по отклонениям стрелки милливольтметра.

Характер отклонений стрелки прибора при наличии различных повреждений аналогичен указанным в предыдущем параграфе.

При пользовании описанным методом следует также иметь в виду, что в случае обрыва или плохого контакта щупов можно сжечь прибор. Во избежание этого в начале испытания пользуются током минимальной силы.

6. ДЕФЕКТЫ ОБМОТКИ ПОЛЮСОВ И ПРИЧИНЫ ИХ ПОЯВЛЕНИЯ

А. Корпусные соединения

Повреждения изоляции обмотки полюсов, ее соединение с корпусом (железным каркасом, с железом полюса) происходят по следующим причинам.

1. Механические повреждения происходят в процессе намотки вследствие небрежного отношения к работе. Наиболее часто повреждаются изоляционные шайбы в углах. Это ведет к соединению обмотки с каркасом. Дефект всегда встречается в углах внутри катушки, а также у места выхода внутреннего выводного конца вследствие неправильной его установки при начале намотки. Иногда же причиной механических повреждений являются выступы и заусенцы железного каркаса.

2. Слабость изоляции является следствием: присутствия влаги в изолирующих материалах, сильного вытягивания изоляционной ленты при наложении изоляции, присутствия в миканите или микафолии металлических включений (слюда часто содержит соли металлов и их окиси), плохого качества самого миканита (просветы при его изготовлении).

К сравнительно редким дефектам следует отнести соединения обмотки с корпусом, каркасом или полюсом. Такие дефекты получаются в результате недостаточной просушки после пропитки обмотки лаком.

Б. Витковые соединения

Эти соединения происходят по следующим причинам:

1) обугливание изоляции после испытания на пробой;

2) повреждение изоляций витков в процессе намотки, при осадке и выравнивании и при подбивании витков;

3) повреждение изоляции выводных концов;

4) сырость и недостаточная просушка после пропитки.

7. ИСПЫТАНИЕ ОБМОТКИ ПОЛЮСОВ НА ВИТКОВОЕ

Для нахождения места соединения между витками в обмотках катушек возбуждения пользуются следующими методами:

а) измерением сопротивления;

б) специальным трансформатором;

в) высокой частотой.

Измерения сопротивления производятся мостиком Уитстона, либо способом амперметра и вольтметра постоянным током. Испытуемая катушка включается в сеть через сопротивление — реостат, которым может регулироваться сила тока в катушке.

Сопротивление всех катушек, не имеющих витковых соединений, одинаково. Катушки, в которых имеются витковые соединения, будут иметь пониженное сопротивление в зависимости от числа замкнутых витков. Величина сопротивления при определении его по способу амперметра и вольтметра находится на основании закона Ома. Схема испытания показана на рис. 412.

Способ испытания на витковое при помощи трансформатора показан на рис. 413.

Сердечник трансформатора *а* имеет обмотку *б*, питаемую переменным током. На сердечник трансформатора надевается испытуемая катушка *в*; сверху сердечник трансформатора замыкается частью *г*. Если в испытуемой катушке имеются замкнутые витки, то при включении тока в обмотку *б* дефектная катушка нагревается в течение небольшого промежутка времени.

При нахождении витковых соединений током повышенной частоты, он, проходя по катушке, создает в короткозамкнутом витке катушки ток большой силы, вследствие чего виток этот сильно нагревается. Испытание катушек на витковое производится переменным током 1000 Hz.

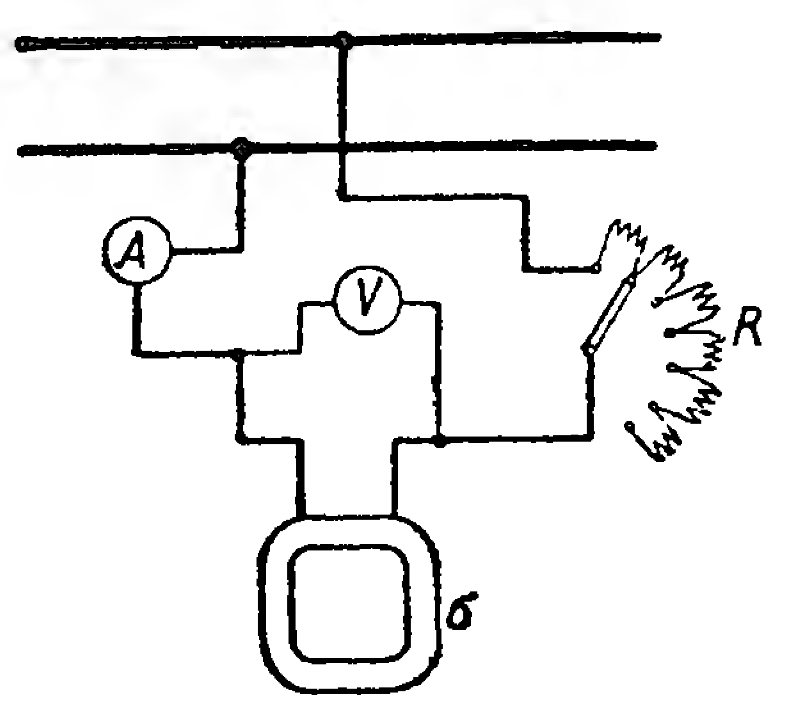


Рис. 412. Схема испытания шунтовых катушек.

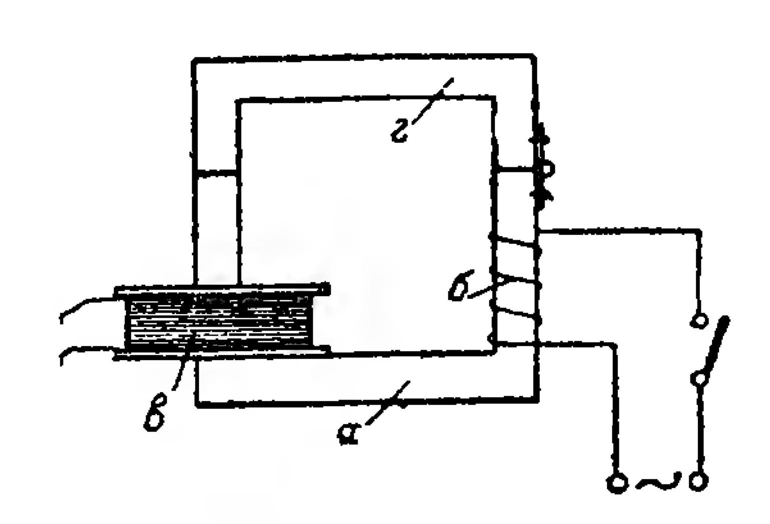


Рис. 413. Испытание катушек трансформатором.

При испытании целого ряда одинаковых катушек сравнивают показания приборов для каждой катушки и по этим показаниям судят о наличии дефектов. Например, если при испытании четырех катушек найдено следующее: в двух катушках при напряжении 500 V ток был равен 2 A, в третьей — при напряжении 300 V ток был равен 2,8 A, а в четвертой катушке при напряжении 150 V ток был еще больше, то первые две катушки не имеют виткового, четвертая имеет явно витковое, а для третьей могут быть два варианта: либо имеется полное замыкание витков, либо, если катушка не будет греться при дальнейшем испытании в течение 3—5 минут, в ней меньше витков, чем в первых двух катушках.

8. ИСПЫТАНИЕ СТАТОРОВ МЕЛКИХ АСИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

А. Испытание на витковое специальным аппаратом

В мелком массовом электромашиностроении для определения витковых в статорах по методу индукции на заводе «Электросила» им. С. М. Кирова применяется аппарат системы М. А. Гашева и Л. Б. Ривлина. На рис. 414 изображен аппарат, состоящий из: вала *1*, рукоятки *2* для поворота, сердечника — электромагнита с обмоткой *3*, электромагнита с обмоткой *4*, медного диска между электромагнитами *5*, опорного бугеля *6*, притягивающих электромагнитов *7*.

Принцип работы аппарата: в электромагнит 3 включается переменный ток повышенной частоты (порядка 1000 Hz), создающий магнитный поток в статоре 8 электродвигателя. Все приспособление с помощью ручки 2 поворачивается. Взаимное расположение электромагнитов 3 и 4 таково, что при нахождении электромагнита 3 против центра любой из катушек статора электромагнит 4 двумя своими зубцами охватывает одну из сторон этой катушки. При таком взаимном расположении электромагнитов, при прохождении электромагнита 3 против катушки, имеющей витковое, индуктируется э. д. с. в обмотке электромагнита 4. Обмотка электромагнита включается на микрофон. При наличии виткового в катушке звук в микрофоне сильно увеличится против нормального (при статоре, не имеющем виткового соединения, звук слаб). Этот аппарат очень удобен в массовом производстве для испытания на витковое. Для испытания обмоток статоров

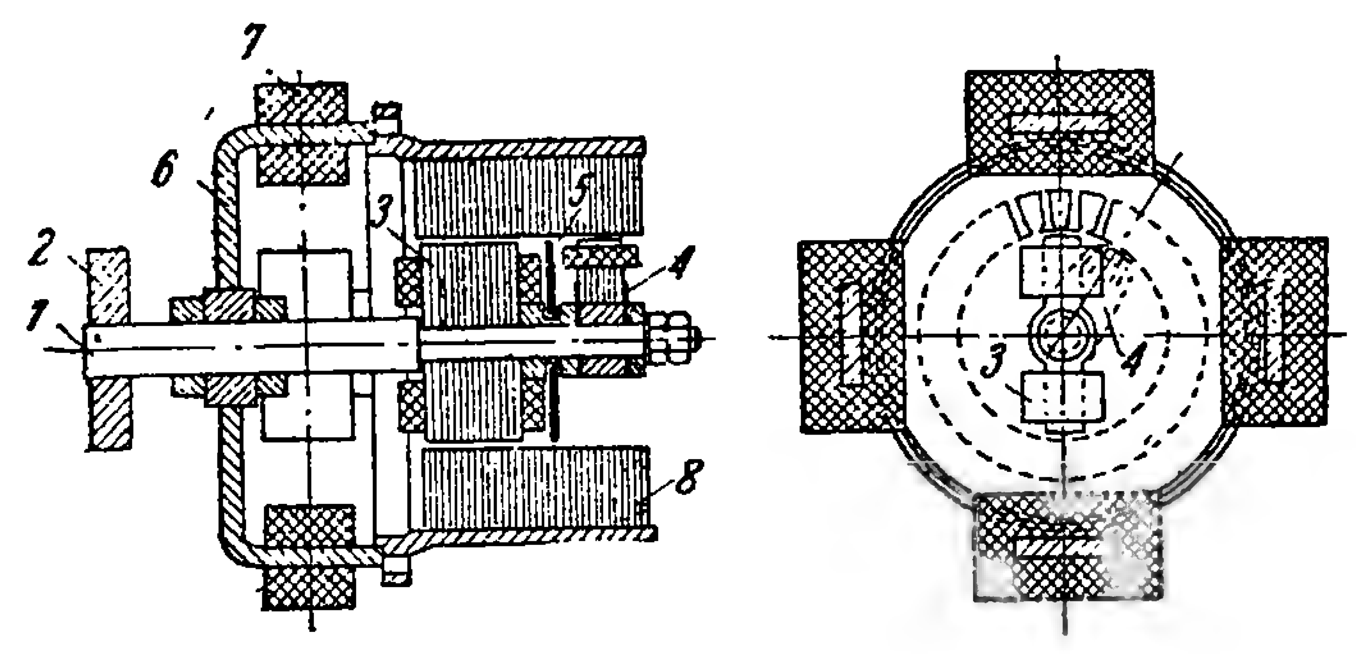


Рис. 414. Аппарат системы инж. Гашева и инж. Ривлина для испытания на витковое.

работница вкладывает в статор аппарат и вращает его за ручку; по звуку в микрофоне определяют присутствие виткового, если таковое имеется. При одном полном обороте аппарата проверяется на витковое вся обмотка статора. В производстве завода «Электросила» им. С. М. Кирова в цехе нормальных машин данным аппаратом пользуются без бугеля 6 и присасывающего электромагнита. 7.

Б. Испытание на витковое и на правильность соединения ротором без обмотки

Испытание соединительных обмоток статора ротором без обмотки производится вкладыванием последнего во внутрь статора. В обмотку статора включается ток от сети нормальной частоты, напряжением 220 V. По амперметру с переключателем замечают ток во всех трех фазах. Равномерность тока во всех трех фазах указывает на правильность соединений, а также и на отсутствие виткового. При наличии виткового появляется сильное гудение, перегрев обмотки статора, запах и дым.

Этим методом пользуются на заводе «Электросила» им. С. М. Кирова.

Испытание на витковое на ХЭТЗ производится также при помощи специального ротора, помещаемого внутри статора. Ротор монтиру-

ется на специально устроенном приспособлении, вид которого показан на рис. 415, *а*. Для испытания статор надевается на ротор (рис. 415, *б*), и в статор подается напряжение. Признаки наличия витковых те же, что и выше.

На рис. 416 дана схема испытания и испытательная вилка с амперметром. Устройство вилки и губок ясно из рисунка.

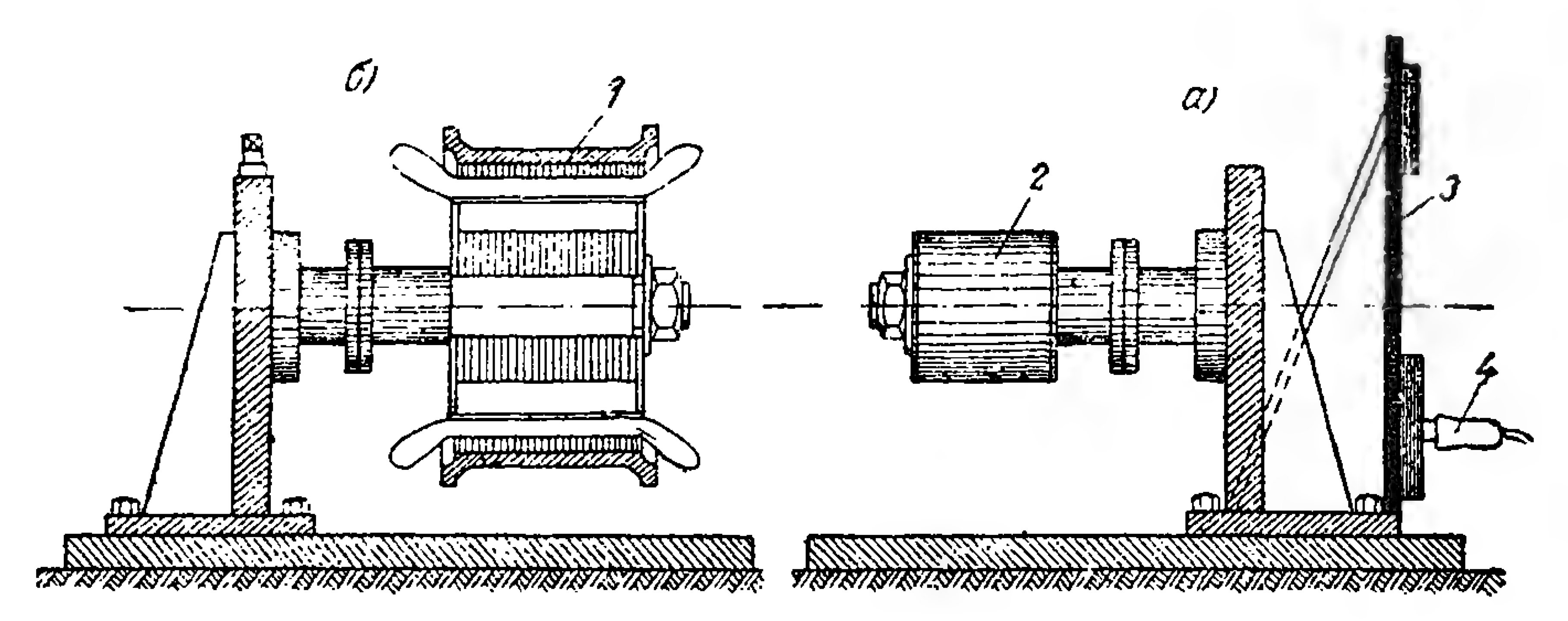


Рис. 415. Испытание на витковое ротором без обмотки.

9. ИСПЫТАНИЕ НА ВИТКОВОЕ СОЕДИНЕННЫХ ОБМОТОК ТОКОМ ВЫСОКОЙ ЧАСТОТЫ

Испытание на витковое и проверка по фазам соединенных обмоток может производиться также и от высокочастотного генератора при частоте в 1000 Hz.

Испытание проводится следующим образом. Один конец проводника от высокочастотного генератора подводится к нулевой шине,

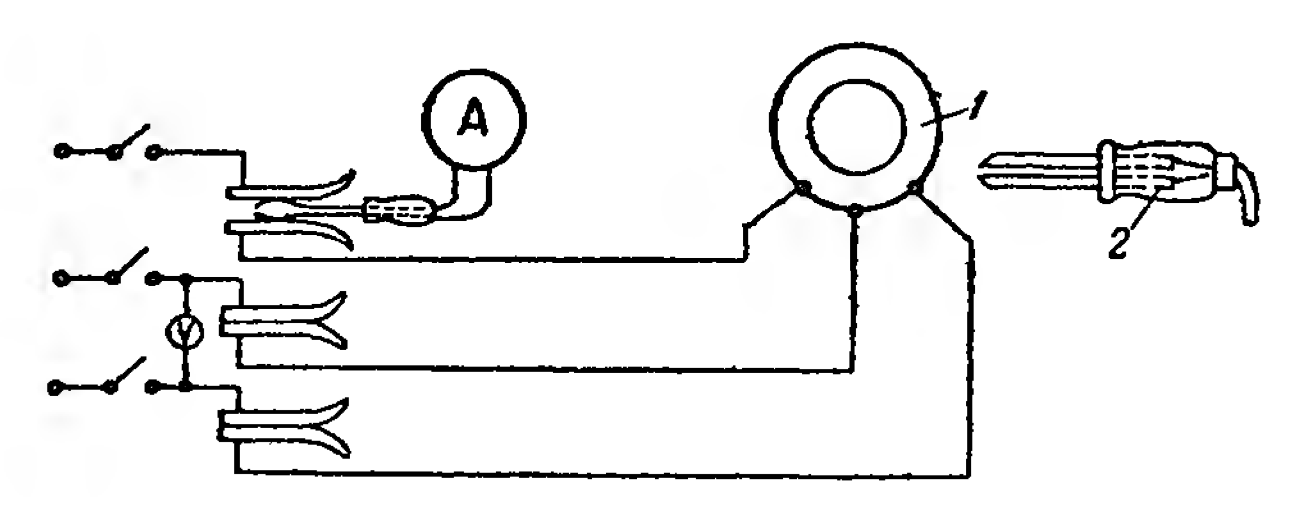


Рис. 416. Схема испытания на витковое.

второй — к одному из концов фаз. Через реостат дают ток в обмотку, причем следят за амперметром и вольтметром и замечают их показания. Далее дают ток во вторую и третью фазы и также отмечают показания приборов. При правильном соединении все три фазы при одном и том же напряжении должны показать один и тот же ток. Неравномерное показание амперметра во всех трех фазах указывает на наличие дефектов:

1) неправильности соединения,
2) виткового и
3) междуфазного соединения.

Для определения, в какой из фаз имеется дефект, разъединяют звезду (если обмотка соединена звездой) и испытывают каждую фазу отдельно.

10. ИСПЫТАНИЕ ОБМОТОК НА КОРПУС

Все обмотки машин при окончательном, т. е. последнем, испытании в готовом виде испытываются согласно нормам (ОСТ 3888). Изоляция обмоток в готовой машине должна выдержать следующие напряжения:

1) машина, мощностью до 1 kW, — двойное рабочее номинальное напряжение плюс 500 V, но не менее 1000 V в течение одной минуты;

2) машины, мощностью выше 1 kW, — двойное номинальное напряжение плюс 1000 V, но не менее 1500 V, также в течение одной минуты.

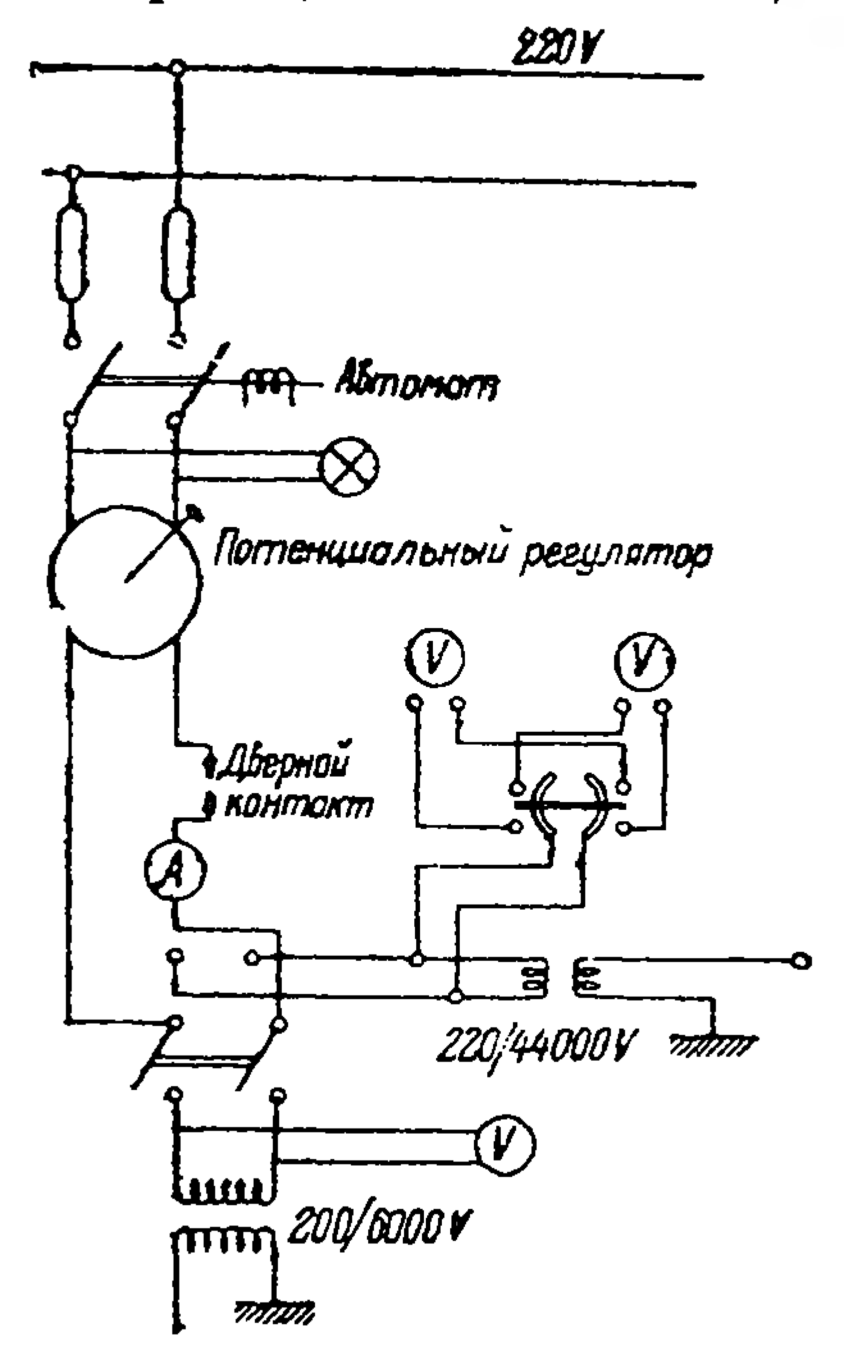


Рис. 417. Схема для испытания обмоток на корпус.

Изоляция обмоток после различных операций может портиться, и прочность ее понижается. Так как всегда необходимо быть уверенным в том, что изоляция обмотки выдержит указанное выше напряжение, то изоляцию в процессе производства испытывают напряжением, повышенным по отношению к конечному испытательному напряжению. Обычно после укладки обмотки в пазы и заклинки ее, а также после запайки хомутиков или припайки к коллекторным пластинам концов, испытательное напряжение несколько повышается — от 10 до 20% против норм.

Для испытания на корпус обмоток применяется обычно схема, приведенная на рис. 417. Необходимое напряжение регулируется потенциальным регулятором.

Таблица 16

Испытательное напряжение на корпус статорных обмоток (в вольтах)

Рабочее напряжение машины	Отдельные катушки	Катушки после укладки в пазы	Обмотки после соединения
3000	13 000	10 000	10 000
6000	21 000	16 800	16 800
6600	22 800	17 800	17 800

Испытательные напряжения, принятые на заводе «Электросила» им. С. М. Кирова, приведены в табл. 16—18.

Таблица 17

Испытательное напряжение на корпус для обмоток роторов асинхронных машин (в вольтах)

Напряжение на кольцах ротора	Стержни после укладки в пазы	Обмотки после пайки и бандажировки
270	2340	2110
500	2800	2520
600	3000	2700
750	3300	2970

Таблица 18.

Испытательное напряжение для обмоток роторов синхронных машин (в вольтах)

Рабочее напряжение возбуждения	На корпус — катушки после укрепления на полюсах	На витковое — катушки после укрепления на полюсах (под давлением)
0—130	3000	Десятикратное рабочее напряжение между витками
131—230	4000	

ГЛАВА XVI

ПЕРЕМОТКА ОБМОТОК

1. О ПЕРЕМОТКЕ ЯКОРЕЙ

На всех электромашиностроительных заводах в цехи даются подробные схемы, чертежи и эскизы обмоток.

Однако бывает, что на завод поступают для ремонта якори, обмотка которых выполнена на другом заводе. В одних случаях данные обмотки таких якорей восстанавливаются при их разборке и размотке. В других случаях перемотка якоря производится по вновь пересчитанным данным.

Ниже приводится перечисление данных, необходимых при перемотке.

1. Род обмотки (петлевая или волновая).
2. Число пазов.
3. Число коллекторных пластин.
4. Число проводов в пазу.
5. Число шаблонов в якоре.
6. Число секций в шаблоне.
7. Число витков в секции.
8. Сечение провода (голого, изолированного).
9. Число уравнительных соединений.
10. Вид уравнительных соединений.

11. Схема обмотки якоря.
12. Схема уравнительных соединений.
13. Изоляция обмотки (пазовая, лобовая).
14. Изоляция уравнительных соединений.
15. Шаг по железу.
16. Шаг по коллектору.
17. Количество бандажей.
18. Число витков в бандаже.
19. Число замков бандажа и их размер.
20. Размер бандажной проволоки.
21. Изоляция под бандажом.
22. Расположение бандажей на якоре.
23. Длина вылетов лобовых частей обмотки.
24. Размер и форма клипа.
25. Размер старого выпрямленного шаблона.
26. Размер паза.
27. Изоляция паза.
28. Длина железа.
29. Изоляция обмоткодержателей.

2. ПРОЦЕСС РАЗМОТКИ ЯКОРЯ И СОСТАВЛЕНИЕ ЭСКИЗОВ И ЧЕРТЕЖЕЙ

Прежде чем приступить к размотке якоря, необходимо измерить расстояние вылетов лобовых частей, а также расстояние наложенных на них бандажей как от железа, так и от головок катушек.

Затем при помощи зубила и ручника открывают бандажные замки и скобы, и проволока бандажа разматывается. Необходимо измерить и записать сечение бандажной проволоки, количество слоев и оборотов проволоки каждого бандажа, размер и количество замков и скоб, а также изоляцию, лежащую под бандажами; если имеются бандажи по окружности железа якоря, удерживающие пазовые части обмотки, то учитываются и их сечения и количество витков. Клинья, выбиваемые из пазов при помощи деревянных клиньев и ручника, также измеряют и определяют их форму и размер.

Если имеются уравнительные соединения, то составляется отдельная схема в зависимости от их количества и вида. Измеряется сечение уравнительных проводов и их изоляция.

Далее приступают к распайке концов обмотки из шлицев или петушков коллекторных пластин, причем определяют и вид обмотки.

При стержневой обмотке якоря легко определять ее по внешнему виду, какого она типа — петлевая или волновая.

Чтобы определить шаг по коллектору волновой многовитковой обмотки, поступают следующим образом. Выпаивают и вынимают по три лежащих рядом конца из коллекторных пластин, находящихся, примерно, на расстоянии шага по коллектору; из вынутых концов первый отмечают цветным карандашом, а соответствующую ему коллекторную пластину закернивают на торцовой части.

Одним концом провода контрольной лампы касаются отмеченного вынутого конца секции (начала), а вторым проводом касаются вынутых концов, находящихся на расстоянии, примерно, шага по коллектору. Первое зажигание лампы при прикосновении к одной из этих пластин укажет второй конец секции. Эту пластину также отмечают. Таким способом определяется шаг по коллектору при условии, что в якоре нет витковых соединений. В сомнительных случаях проверяют не одну, а несколько секций.

Шаг по железу легко определить, если вынуть из пазов несколько верхних сторон секций. Найденный шаг отмечают, засекая зубилом кресты на двух зубцах, находящихся по ту и другую сторону пазов секции.

Нахождение шага по коллектору для петлевых обмоток значительно проще, так как шаг их равен единице.

Из числа вынутых секций выбирают хорошо сохранившуюся и с нее снимают размеры пазовой и лобовой частей. Записывают сечение провода, его изоляцию и общую изоляцию секции. Разматывая изоляцию обмоткодержателя, следует записать, каким материалом изолирован каждый обмоткодержатель, количество оборотов материала, его ширину и длину. Все данные при размотке сводятся в таблицу.

Отметим, что для более легкого извлечения обмоток электрических машин из пазов они должны быть предварительно разогреты.

Что касается отдельных производственных процессов перемотки якорей, то можно сказать, что они ничем не отличаются от производственных процессов изготовления новой обмотки, а потому отдельно не рассматриваются.

3. ПЕРЕМОТКА ОБМОТКИ СТАТОРА

При размотке статорной обмотки необходимо вести запись следующих данных.

1. Число катушечных групп в статоре.
2. Число пазов на полюс и фазу, или, что то же, число катушек в катушечной группе.
3. Шаг обмотки.
4. Выяснить схему соединения обмотки (т. е. — как соединена обмотка: последовательно, последовательно-параллельно, параллельно и т. д.).
5. Составить схему соединения обмотки.
6. Размеры вылетов лобовых частей от активного железа.
7. Угол наклона лобовых частей по отношению к горизонтали.
8. Количество шнуровых бандажей, прикрепляющих лобовые части катушки к бандажным кольцам.
9. Диаметр шнура и размеры подкладок между лобовой частью и бандажным кольцом.
10. Размеры скобочек на соединениях катушек между собою.
11. Фасон и размер деревянных клиньев и их число.
12. Толщина и материал проходной коробки.
13. Размер пазовой части катушки с изоляцией.
14. Материал изоляции пазовой части катушки (микафолий, прессшпан, лакоткань и т. д.).
15. Изоляцию лобовых частей.
16. Длину, ширину и количество оборотов пазовой изоляции. При миканитовой опрессовке — толщину стенки гильзы.
17. Материал, толщину и длину прокладок между верхней и нижней сторонами катушек, лежащими в одном пазу.
18. Размеры вынутой катушки:

а) ширину растяжки между сторонами катушки;

б) общую длину катушки от наружного конца одной стороны до наружного конца другой стороны.

19. Число витков в катушке.

20. Сечение голого витка и с изоляцией.

21. Род изоляции (ПБО, ПБД и др.).

22. Количество параллельных витков в катушке.

Отметим, что извлечение катушек с непрерывной изоляцией возможно лишь после соответствующего подогрева их.

Производственные процессы по намотке и укладке статорной обмотки при ремонте не отличаются от производственных процессов намотки и укладки новых обмоток, которые описаны были выше в соответствующих отделах.

4. ПЕРЕМОТКА ОБМОТКИ РОТОРА

Прежде чем приступить к снятию роторной обмотки, необходимо измерить вылеты лобовых частей, а также расстояния бандажей как от активного железа, так и от концов обмотки, и сделать соответствующий эскиз с нанесением полученных размеров.

Затем снимают бандажи и приступают к распайке хомутиков.

Неповрежденные хомутики могут быть использованы. Медные клинья, забитые в хомутики (между концами стержней), также измеряются и записываются.

После распайки и снятия хомутиков вынимают верхний ряд стержней.

Выемка стержней начинается с 1-го стержня, лежащего в 1-м пазу. Обычно у роторов бывает помечен 1-й паз. Отметка первого паза делается путем набивки крестов на зубцах ротора, лежащих по ту и другую сторону этого паза. Таким же образом отмечается и другой паз на расстоянии шага обмотки по железу. При разборке обмотки замечаются те пазы, из которых выходят начала и концы фаз, а также поперечки всех фаз, и составляется схема обмотки.

Выемку стержней производят следующим образом. При помощи ручных ключей (рис. 352) разгибают лобовые части со стороны контактных колец и вытаскивают стержни из пазов ротора со стороны привода. С извлеченных стержней верхнего ряда обмотки ротора снимаются размеры (вылетов лобовых частей, длины пазовой части) как с нормальных стержней, так и удлиненных или укороченных (в зависимости от рода обмотки). Далее производится выпрямление и извлечение стержней нижнего ряда. Записывается длина изоляции стержня и изоляция паза, род изоляции.

После удаления обмотки из пазов следует обратить внимание на состояние изоляции обмоткодержателей. При плохом состоянии изоляции последняя снимается, причем записываются род изоляции и количество ее слоев.

Вследствие того, что разобранная обмотка подвергалась двукратным изгибам (при первоначальном изготовлении ротора и при разборке), она имеет большую твердость, или, как говорят, наклеп. Для устранения этого стержни отжигаются и затем уже поступают

на дальнейшие операции, как то: рихтовку, отгибы лобовых частей, изолировку и т. д.

При разработке роторной обмотки ведется запись следующих данных.

1. Длина лобовых частей.
2. Число бандажей на лобовых частях обмотки.
3. Число замков и скоб каждого бандажа.
4. Размер и число витков (оборотов) бандажной проволоки каждого бандажа.
5. Изоляция под бандажом, ее размеры.
6. Количество хомутиков и их размер.
7. Число медных клипсов и их размер.
8. Размеры сечения стержней ротора и их длина.
9. Изоляция стержней в пазовой и в лобовой частях.
10. Число удлиненных или укороченных стержней.
11. Количество и размер поперечек.
12. Изоляция паза.
13. Изоляция обмоткодержателей.
14. Изоляция поперечек и звезды.
15. Схема обмотки ротора.

Производственные процессы по изготовлению и укладке роторной обмотки изложены в соответствующих отделах книги.

ОТДЕЛ ПЯТЫЙ
ПЕРЕСЧЕТ ОБМОТОК

ГЛАВА XVII

ПЕРЕСЧЕТ ОБМОТОК МАШИН ПОСТОЯННОГО ТОКА

1. ВВЕДЕНИЕ

В заводской практике иногда бывает необходимо имеющуюся машину, рассчитанную для работы при мощности, напряжении и числе оборотов, указанных на фирменном щитке машины, использовать для работы при другом напряжении и другом числе оборотов, или, иначе, при данных, не соответствующих указанным на щитке.

В ряде случаев изменение условий работы машины требует изменения ее обмоток. Например от имеющегося генератора на 115 V, при сохранении старого числа оборотов, 230 V можно получить, только изменив обмотки якоря и возбуждения. Действительно, увеличение напряжения генератора до 230 V за счет увеличения магнитного потока машины в два раза потребовало бы и увеличения силы тока в шунтовой обмотке, по меньшей мере, в два раза, вследствие чего джоулевы потери ($I^2 R$), пропорциональные квадрату силы тока, увеличились бы в четыре раза. Такое увеличение потерь в обмотке повлекло бы за собой сильный перегрев ее. Помимо этой причины — высокого перегрева шунтовой обмотки, увеличение напряжения до 230 V может оказаться невозможным и по другим причинам, как то: слишком большое напряжение между коллекторными пластинами, необходимость иметь на шунтовой обмотке напряжение, большее напряжения машины. Кроме того, увеличение магнитного потока может оказаться невозможным вследствие насыщения магнитной цепи. Все эти затруднения могут быть устранены только перемоткой машины. Можно было бы привести еще ряд примеров, при которых изменение условий работы машины требует изменения ее обмоток.

Все необходимые изменения обмоток машины, т. е. ее перемотка, для удовлетворения новых требований, предъявляемых к ней, могут быть выполнены только на основании расчетов. В большинстве случаев эти расчеты сложны и требуют специального знакомства с вопросами расчета электрических машин, поэтому мы ограничимся рассмотрением только наиболее простых случаев.

При перемотке машины прежде всего необходимо обеспечить надежную работу ее при новых условиях работы. Основные условия надежной работы машины состоят в следующем.

1. Все детали машины: вал, коллектор, бандажи, клинья и т. д. должны быть достаточно механически прочными.

2. Обмотки машины, коллектор и подшипники не должны перегреваться сверх предельных температур, допускаемых общесоюзным стандартом (ОСТ).

3. Изоляция машины должна быть достаточно надежной.

4. Машина должна работать без искрения, портящего коллектор.

2. ОБЩИЕ УКАЗАНИЯ ПО ПЕРЕСЧЕТУ

А. Магнитный поток машины

Активные материалы (медь обмоток и железо магнитной цепи) электрических машин, выпускаемых в настоящее время заводами, значительно использованы. Обмотки машины, при работе ее с номинальной нагрузкой, перегреваются до предельных температур, допускаемых нормами ОСТ; поэтому, во избежание недопустимых перегревов, при пересчете машины потери в обмотках на джоулево тепло не должны быть больше тех потерь, которые имели место в этих же обмотках при работе машины до ее пересчета.

Потери в обмотках возбуждения (шунтовая и сериесная обмотки) зависят от величины магнитного потока машины. С увеличением магнитного потока машины джоулевы потери в шунтовой обмотке растут очень сильно.

Действительно, для того чтобы увеличить магнитный поток на 5%, вследствие насыщенности магнитной цепи машины силу тока в шунтовой обмотке машины необходимо увеличить больше чем на 5%. Грубо можно считать, что при насыщенной магнитной цепи машины сила тока в шунтовой обмотке должна расти пропорционально квадрату магнитного потока. Таким образом, для того чтобы увеличить магнитный поток на 5%, силу тока в шунтовой обмотке следует увеличить, примерно, на 10% ($1{,}05^2 \approx 1{,}1$); потери же на джоулево тепло, пропорциональные квадрату силы тока, при этом вырастут на 21% ($1{,}1^2 = 1{,}21$). При таком значительном увеличении потерь шунтовая обмотка, конечно, сильно перегреется. Если до пересчета машины шунтовая обмотка перегревалась до пределов, допустимых ОСТ (60° С), то при повышении потока на 5% она будет перегреваться на 21% выше температур, допускаемых ОСТ.

Если бы машина имела сериесное возбуждение, то картина осталась бы такой же. Для увеличения потока на 5% необходимо ампервитки увеличить на 10%. При прежнем значении силы тока увеличение ампервитков может быть достигнуто только увеличением числа витков на полюсах на 10%. Так как обычно между катушками полюсов нет свободного места для размещения добавочных витков, то увеличить число витков на 10% можно, только уменьшив поперечное сечение каждого витка тоже на 10%. Сопротивление выполненной таким образом сериесной обмотки будет на 21% больше сопротивления старой сериесной обмотки: на 10% сопротивление увеличится вследствие увеличения числа витков и еще на 10% — вследствие уменьшения сечения витков. Увеличение сопротивления на 21% вызовет такое же увеличение потерь и перегрева обмотки.

Из разобранного примера видно, что даже такое незначительное увеличение магнитного потока, всего на 5%, вызывает увеличение потерь и перегрева обмотки возбуждения на 21%, поэтому при пересчете машины нельзя увеличивать магнитный поток.

Подбор новых обмоток машины должен быть выполнен таким образом, чтобы магнитный поток машины после пересчета не был увеличен против того, который имел место в машине, изготовленной на заводе.

При пересчете генераторов следует иметь в виду, что работа генераторов на прямолинейной части кривой намагничивания неустойчива. При незначительных изменениях числа оборотов генератора или его нагрузки напряжение на его зажимах будет очень сильно колебаться. Для того чтобы избежать этого, магнитный поток не должен быть слишком сильно уменьшен. Практика показывает, что устойчивую работу машины в большинстве случаев удается еще получить при уменьшении магнитного потока на 20—30%. При таком уменьшении магнитного потока машина еще будет работать на криволинейной части характеристики холостого хода. Как мы увидим ниже, при уменьшении магнитного потока машины мощность ее уменьшается, поэтому при пересчете с уменьшением магнитного потока машины можно мириться только в крайних случаях, когда это вызывается необходимостью.

Б. Изменение мощности машины при пересчете на новое число оборотов

Во многих случаях при пересчете машины требуется изменить число оборотов ее, при этом и мощность машины должна быть изменена. Можно показать, что мощность машины должна изменяться, примерно, пропорционально числу оборотов. Если, например, машину требуется пересчитать на число оборотов, которое в два раза меньше числа оборотов, указанного на щитке, то и мощность машины должна быть, по меньшей мере, уменьшена в два раза. Наоборот, при увеличении числа оборотов мощность может быть увеличена во столько раз, во сколько раз увеличивается число оборотов. В этом нетрудно убедиться из следующего примера.

Пусть имеется генератор со следующими данными: мощность $P = 115$ kW, напряжение $U = 230$ V и число оборотов $n = 500$ *об мин.*

Обмотка якоря этого генератора рассчитана на силу тока $I = \frac{P \cdot 10^3}{U} = \frac{115 \cdot 10^3}{230} = 500$ A. Посмотрим, что произойдет с мощностью этого генератора, если уменьшить число оборотов его в два раза, т. е. до 250 *об/мин*. Если оставить у генератора старую обмотку якоря и, во избежание перегрева шунтовой обмотки, сохранить неизменным магнитный поток машины, то э. д. с. якоря уменьшится в два раза и будет равна 115 V.

Вследствие такого уменьшения э. д. с. машины мощность ее, равная произведению из силы тока на напряжение, уменьшится также в два раза.

Если бы мы при уменьшении числа оборотов захотели сохранить напряжение машины равным 230 V, то, как следует из формулы для э. д. с. машины, число проводников обмотки якоря пришлось бы увеличить в два раза. Увеличенное в два раза число проводников обмотки якоря можно было бы уложить в пазы, если поперечное сечение каждого проводника уменьшить в два раза. Таким образом новая обмотка якоря имела бы в два раза больше проводников старой обмотки, сечение же каждого проводника было бы в два раза меньше. Сопротивление такой обмотки будет в четыре раза больше сопротивления старой обмотки якоря. Для того чтобы при увеличенном в четыре раза сопротивлении сохранить в обмотке якоря джоулевы потери, необходимо в два раза уменьшить силу тока в ней. Вследствие уменьшения силы тока в два раза и мощность понизится в два раза. Из разобранного примера видно, что при понижении числа оборотов генератора в два раза мощность его также уменьшается в два раза.

При рассмотрении этого примера мы не приняли во внимание ухудшения вентиляции вследствие понижения числа оборотов машины, которое может привести к необходимости еще дополнительного понижения мощности ее.

Для двигателей картина будет такая же, т. е. с уменьшением числа оборотов мощность двигателя должна понижаться. В самом деле, для того чтобы при меньшем числе оборотов в якоре электродвигателя индуктировалась такая же противоэлектродвижущая сила, как и при большем числе оборотов, необходимо увеличить число проводников обмотки якоря. Для выполнения этого необходимо поперечное сечение каждого проводника уменьшить. При такой перемотке сопротивление обмотки якоря увеличится, и, во избежание перегревов ее, сила тока в ней должна быть уменьшена, т. е. мощность двигателя должна быть понижена.

В. Изменение числа оборотов машины при использовании двигателя в качестве генератора

Как известно, одна и та же машина постоянного тока может работать либо двигателем, либо генератором.

При эксплоатации машин иногда бывает необходимо машину, выпущенную заводом в качестве двигателя, использовать для работы генератором.

Рассмотрим, как следует изменить число оборотов машины, чтобы она могла работать генератором.

Э. д. с., индуктируемая в обмотке якоря электродвигателя, $E_{дв}$, меньше напряжения на зажимах U на величину падения напряжения в обмотках двигателя ΔU, т. е.

$$E_{дв} = U - \Delta U.$$

Э. д. с., которую необходимо получить в обмотке якоря при работе машины генератором, $E_{ген}$, должна быть больше напряжения генератора $U_{ген}$ на величину падения напряжения в обмотках машины ΔU; таким образом:

$$E_{ген} = U_{ген} + \Delta U.$$

Если бы магнитный поток при работе машины генератором можно было оставить таким же, как при работе двигателем, тогда число оборотов машины при переходе на работу генератором следовало бы увеличить в отношении э. д. с. генератора $E_{ген}$ к э. д. с. двигателя $E_{дв}$, т. е.

$$\frac{\text{число оборотов генератора}}{\text{число оборотов двигателя}} = \frac{E_{ген}}{E_{дв}} \quad \text{или} \quad \frac{n_{ген}}{n_{дв}} = \frac{U_{ген}+\Delta U}{U_{дв}-\Delta U}.$$

В действительности же, для того чтобы, не увеличивая магнитного потока машины, можно было, в случае необходимости, несколько увеличить напряжение генератора, следует число оборотов машины повысить еще на $5 \div 10\%$. Таким образом окончательно получим для числа оборотов генератора следующее выражение:

$$n_{ген} = n_{дв}\,\frac{U_{ген}+\Delta U}{U_{дв}-\Delta U}\cdot(1{,}05 \div 1{,}1). \qquad (75)$$

Пример. Определить, с каким числом оборотов следует вращать машину для работы генератором при напряжении $U_{ген} = 230$ V, если при работе двигателем она имеет следующие данные: мощность $P = 10$ kW, число оборотов $n = 950$ *об/мин*, напряжение $U = 220$ V и силу тока $I = 55$ A. Падение напряжения в обмотках двигателя равно $\Delta U = 25$ V.

По ф-ле (75) получаем:

$$n_{ген} = n_{дв}\,\frac{U_{ген}+\Delta U}{U_{дв}-\Delta U}\cdot 1{,}1 = 950\,\frac{230+25}{220-25}\cdot 1{,}1 =$$
$$= 950\cdot 1{,}44 = 1370 \text{ об/мин}.$$

Определим, чему будет равна мощность машины при работе генератором. Сила тока в обмотке якоря машины, во избежание перегревов ее, не должна быть увеличена по сравнению с той силой тока, которая имеет место при работе машины двигателем. Сила тока в обмотке якоря машины I_a при работе ее двигателем меньше тока сети I, указанного на щитке машины, на величину силы тока в обмотке возбуждения i_m, т. е. равна

$$I_a = I - i_m.$$

При работе машины генератором ток в обмотку возбуждения i_m будет поступать из якоря, поэтому ток, поступающий в сеть I, будет равен:

$$I_{ген} = I_a - i_m = (I - i_m) - i_m = I - 2i_m,$$

и полезная мощность генератора будет равна

$$P_{ген} = U_{ген}I_{ген} = U_{ген}(I - 2i_m).$$

Так как ток возбуждения машины мал по сравнению с током сети, то им можно пренебречь, и тогда приближенно получим, что мощность генератора

$$P_{ген} \approx U_{ген}I.$$

Для рассмотренного выше примера мощность генератора будет равна

$$P_{ген} = U_{ген}I = 230\cdot 55\cdot 10^{-3}\text{ kW} = 12{,}6\text{ kW}.$$

3. ОСНОВНЫЕ ФОРМУЛЫ ДЛЯ ПЕРЕСЧЕТА ОБМОТОК

А. Обмотка якоря

Исходной формулой при выборе новой обмотки якоря является ф-ла (34) для э. д. с. машины

$$E=\frac{pn}{60}\,\frac{N}{a}\,\Phi\,10^{-8}\,\mathrm{V}.$$

При пользовании этой формулой для выбора обмотки якоря необходимо помнить, что магнитный поток машины Φ, как было указано ранее, не должен быть увеличен против того значения магнитного потока, который имел место в машине до перемотки. Исходя из этой формулы и считая магнитный поток заданным, легко получить число проводников обмотки якоря, соответствующее новым условиям работы машины.

Обозначим через E_1, N_1, n_1, a_1 э. д. с. якоря, число проводников обмотки якоря, число оборотов и число пар параллельных ветвей обмотки якоря до перемотки и через E_2, N_2, n_2, a_2 те же величины после перемотки.

В соответствии с принятыми обозначениями, можно написать следующие выражения для э. д. с. машины до и после перемотки:

$$E_1=\frac{pn_1}{60}\,\frac{N_1}{a_1}\,\Phi\,10^{-8}\,\mathrm{V},$$

$$E_2=\frac{pn_2}{60}\,\frac{N_2}{a_2}\,\Phi\,10^{-8}\,\mathrm{V}.$$

Разделив E_2 на E_1, получим уравнение, из которого можно будет определить новое число проводников обмотки якоря:

$$\frac{E_2}{E_1}=\frac{n_2N_2a_1}{a_2N_1n_1}, \tag{76}$$

откуда получаем для нового числа проводников обмотки якоря следующую формулу:

$$N_2=\frac{E_2a_2n_1}{E_1a_1n_2}\,N_1. \tag{77}$$

Это выражение является наиболее общим при определении нового числа проводников обмотки якоря.

Так как все якори в настоящее время исполняются с пазами, число которых при перемотке машины не может быть изменено, то практически важно знать новое число проводников в пазу якоря. Число проводников в пазу якоря можно получить, если разделить общее число проводников машины N на число пазов. Разделив обе части ф-лы (77) на число пазов Z, получим формулу, связывающую новое (s_{n1}) и старое (s_{n2}) число проводников в пазу:

$$s_{n2}=s_{n1}\,\frac{E_2n_1a_2}{E_1n_2a_1}. \tag{78}$$

Новое число проводников в пазу s_{n2} должно быть целым и четным числом; последнее необходимо для того, чтобы обмотку можно было выпол-

нить двухслойной. Кроме того, для сохранения старого коллектора необходимо, чтобы число секций осталось таким же, каким оно было до перемотки машины.

Остановимся еще на выборе нового числа параллельных ветвей обмотки.

Как правило, при перемотке машины желательно сохранить старое число параллельных ветвей, тем более, что не всегда можно выполнить симметричные петлевую или сложно-волновую обмотки при существующем числе пазов на якоре.

Поэтому при выборе новой обмотки якоря необходимо попытаться сохранить старое число параллельных ветвей, и только тогда, когда это не удается (например получается меньше одного проводника в пазу), приходится заняться подбором нового числа параллельных ветвей.

Обмотка якоря, при сохранении старого числа параллельных ветвей, может оказаться невыполнимой по следующим причинам.

1. Число проводников в пазу очень мало, например $1^1/_2$ проводника в пазу. В этом случае для увеличения числа проводников в пазу надо увеличить число параллельных ветвей якоря.

2. Число витков в секции слишком сильно увеличивается. Например, в четырехполюсной машине на 110 V была применена простая петлевая обмотка ($2a = 4$), причем в каждой секции было 2 витка. Если при пересчете этой машины на 440 V сохранить неизменным число параллельных ветвей обмотки якоря, то вследствие увеличения э. д. с. машины в четыре раза — в четыре же раза следует увеличить и число витков в секции. Новое число витков в секции будет равно $2 \cdot 4 = 8$. При переходе на простую волновую обмотку это число витков в секции уменьшится в два раза.

3. Число проводников обмотки якоря получается таким, при котором нельзя использовать старый коллектор. Тогда надо выбором нового числа параллельных ветвей попытаться устранить это неудобство.

Ниже, в примерах пересчетов, разобран ряд конкретных случаев, из которых видно, как следует подходить к выбору новой обмотки якоря.

Б. Обмотка добавочных полюсов

Расчет добавочных полюсов, который сводится к определению размеров добавочного полюса и числа витков на нем, сложен и не всегда приводит к благоприятным результатам. Поэтому при пересчете машин или восстановлении обмотки добавочных полюсов можно исходить из отношения ампервитков добавочных полюсов к ампервиткам якоря. Это отношение, которое мы обозначим через θ, в хорошо работающих машинах колеблется в пределах от 1,15 до 1,5.

При пересчете машины необходимо значение θ сохранить таким, каким оно было в машине, изготовленной на заводе. Это будет выполнено тогда, когда с изменением числа витков якоря пропорционально будет меняться и число витков добавочных полюсов. Если, например, в два раза увеличить число проводников якоря, не изменяя числа параллельных ветвей обмотки, то и в два раза должно быть увеличено

число витков на добавочный полюс. На отношение ампервитков добавочных полюсов к ампервиткам якоря влияет еще число параллельных ветвей обмотки якоря. Это видно из следующего примера. Пусть имеется четырехполюсная машина, у которой якорь имеет простую волновую обмотку. Число параллельных ветвей такой обмотки $2a = 2$. Пусть якорь этой машины перемотан таким образом, что число параллельных ветвей его увеличилось в два раза, т. е. сделана простая петлевая обмотка, у которой число параллельных ветвей равно четырем ($2a = 4$). При перемотке этого якоря сохранено прежнее число проводников его. Если пропустить до и после перемотки якоря через машину один и тот же ток, то ампервитки добавочных полюсов в обоих случаях будут одни и те же, ампервитки же якоря после перемотки уменьшатся в два раза. В самом деле, до перемотки ток в каждом проводнике обмотки якоря был в два раза меньше общего тока якоря; после перемотки, вследствие увеличения числа параллельных ветвей в два раза, ток в проводнике стал в четыре раза меньше общего тока якоря.

Для того чтобы выяснить, как нужно менять обмотку добавочных полюсов при изменении обмотки якоря, найдем в общем виде выражение для отношения ампервитков добавочных полюсов к ампервиткам якоря, т. е. найдем формулу для θ.

Обозначим число витков на один добавочный полюс через $w_{д.п}$. По каждому витку обмотки добавочных полюсов протекает ток якоря, равный I_a, поэтому общее число ампервитков всех добавочных полюсов $AW_{д.п}$ будет равно

$$AW_{д.п} = 2p \cdot w_{д.п} I_a. \tag{79}$$

Найдем, чему равно число ампервитков якоря. Число витков якоря в два раза меньше числа проводников его и равно $\frac{N}{2}$. По каждому витку обмотки якоря проходит ток параллельной ветви, равный общему току якоря, деленному на число параллельных ветвей, т. е. $\frac{I_a}{2a}$, откуда ампервитки якоря равны

$$AW_{як} = \frac{N}{2} \cdot \frac{I_a}{2a} = \frac{NI_a}{4a}. \tag{80}$$

Имея выражения для ампервитков добавочных полюсов и ампервитков якоря, найдем отношение их, разделив одно на другое:

$$\theta = \frac{AW_{д.п}}{AW_{як}} = \frac{2pw_{д.п} I_a 4a}{NI_a} = \frac{8paw_{д.п}}{N}. \tag{81}$$

Полученное выражение для θ справедливо только в том случае, когда все добавочные полюса соединены между собой последовательно, т. е. когда ток в добавочных полюсах равен току якоря. Если же (как это иногда делают для уменьшения поперечного сечения обмотки добавочных полюсов) катушки отдельных полюсов соединяют параллельно, тогда в выражение для θ нужно внести исправление.

Обозначим число параллельных групп в схеме соединения добавочных полюсов через $a_{д.п}$, тогда по каждому витку обмотки

добавочных полюсов будет проходить ток, равный $\frac{I_a}{a_{\partial.n}}$, и следовательно ампервитки добавочных полюсов будут равны

$$AW_{\partial.n} = 2pw_{\partial.n} \frac{I_a}{a_{\partial.n}}, \tag{82}$$

а отношение ампервитков добавочных полюсов к ампервиткам якоря будет:

$$\theta = \frac{8apw_{\partial.n}}{Na_{\partial.n}}. \tag{83}$$

Из полученного выражения для θ легко сделать заключение о тех изменениях, которые нужно внести в обмотку добавочных полюсов при изменении обмотки якоря для того, чтобы θ не менялось.

При сохранении числа параллельных ветвей обмотки якоря и числа параллельных групп обмотки добавочных полюсов с увеличением числа проводников обмотки якоря N соответственно нужно увеличивать и число витков обмотки добавочных полюсов.

Обозначим через N_1 и a_1 число проводников и число пар параллельных ветвей обмотки якоря и через $w_{\partial.n.1}$ и $a_{\partial.n.1}$ число витков на полюс и число параллельных групп обмотки добавочных полюсов до перемотки машины. Те же величины после перемотки машины обозначим N_2, a_2, $w_{\partial.n.2}$ и $a_{\partial.n.2}$. Для того чтобы θ после перемотки машины не изменилось, очевидно, должно соблюдаться следующее равенство:

$$\frac{8pa_1w_{\partial.n.1}}{N_1a_{\partial.n.1}} = \frac{8pa_2w_{\partial.n.2}}{N_2a_{\partial.n.2}}.$$

Из этого равенства находим новое число витков на добавочный полюс:

$$w_{\partial.n.2} = \frac{N_2a_1a_{\partial.n.2}}{N_1a_2a_{\partial.n.1}} w_{\partial.n.1}, \tag{84}$$

которой можно пользоваться при пересчете машины.

При определении числа витков обмотки добавочных полюсов машины, для которой неизвестна старая обмотка, можно исходить из ф-лы (81). При этом следует задаться $\theta = 1{,}2$.

В. Шунтовая обмотка

Для работы машины необходимо создать в ней определенный магнитный поток. Этот магнитный поток создается ампервитками шунтовой обмотки. Если при пересчете машины магнитный поток машины остается неизменным, то неизменными должны остаться и ампервитки шунтовой обмотки; поэтому пересчет шунтовой обмотки должен быть сделан таким образом, чтобы ампервитки, создаваемые ею, были не меньше тех ампервитков, которые могла создать шунтовая обмотка ранее.

Для того чтобы правильно сделать пересчет шунтовой обмотки машины, выясним, от каких причин зависят ампервитки, которые могут быть получены от шунтовой обмотки.

Введем следующие обозначения:

$w_ш$ — число витков шунтовой обмотки на полюс;

$i_ш$ — ток в шунтовой обмотке;

$i_ш w_ш$ — ампервитки шунтовой обмотки;

$l_ш$ — средняя длина витка шунтовой обмотки;

$q_ш$ — поперечное сечение проводника шунтовой обмотки;

$R_ш$ — сопротивление шунтовой обмотки в нагретом состоянии;

$U_ш$ — напряжение на зажимах шунтовой обмотки.

Ампервитки шунтовой обмотки мы получим, если силу тока, проходящую по ней, умножим на число витков ее. Сила тока в шунтовой обмотке, по закону Ома, равна:

$$i_ш = \frac{U_ш}{R_ш}.$$

Умножив эту силу тока на число витков на полюс, получим ампервитки шунтовой обмотки на один полюс

$$i_ш w_ш = \frac{U_ш}{R_ш} w_ш.$$

Подставим в полученное выражение для ампервитков шунтовой обмотки вместо сопротивления $R_ш$ его значение, выраженное через длину витка, число витков на полюс и поперечное сечение проводника.

Сопротивление шунтовой обмотки равно

$$R_ш = \frac{2p \cdot w_ш \cdot l_ш}{57 \cdot q_ш} \cdot 1{,}32, \tag{85}$$

где коэфициент 1,32 учитывает увеличение сопротивления шунтовой обмотки вследствие нагрева ее при прохождении по ней тока. (Коэфициент 1,32 соответствует температуре обмотке, равной 95° С — максимальной температуре, допустимой по ОСТ.)

Сделав указанную подстановку, получим окончательную формулу для ампервитков шунтовой обмотки на полюс:

$$i_ш w_ш = \frac{U_ш \cdot 57 \cdot q_ш}{2p \cdot l_ш \cdot 1{,}32}. \tag{86}$$

Так как средняя длина витка шунтовой обмотки ($l_ш$) обычно при перемотке машины не меняется, то можно из ф-лы (86) сделать следующее заключение относительно ампервитков шунтовой обмотки.

Ампервитки шунтовой обмотки пропорциональны: напряжению на зажимах шунтовой обмотки и поперечному сечению проводника $q_ш$, из которого она намотана.

Как было указано ранее, при перемотке машины магнитный поток ее стремятся не менять, поэтому должны оставаться неизменными и ампервитки шунтовой обмотки. Как следует из ф-лы (86), это будет выполнено, если произведения $U_ш \cdot q_ш$ до и после перемотки машины будут одинаковы. Обозначив через U_1, $q_{ш1}$ и $w_{ш1}$ напряжение машины, поперечное сечение проводника и число витков шунтовой обмотки до перемотки машины и через U_2, $q_{ш2}$, $w_{ш2}$ — те же величины

после перемотки, можно написать следующее равенство, которое должно соблюдаться при перемотке машины

$$U_1 \cdot q_{ш1} = U_2 \cdot q_{ш2}. \quad (87)$$

Из равенства (87) получаем новое поперечное сечение провода для шунтовой обмотки

$$q_{ш2} = q_{ш1} \cdot \frac{U_1}{U_2}. \quad (88)$$

Из полученной формулы для определения поперечного сечения проводника шунтовой обмотки следует, что если машину нужно перемотать на напряжение, в два раза меньшее первоначального напряжения машины, то поперечное сечение проводника должно быть увеличено в два раза. При сохранении старых габаритов катушек (толщины и высоты катушки) это возможно только при уменьшении числа витков шунтовой обмотки также в два раза. В общем виде можно написать следующую формулу для определения нового числа витков шунтовой обмотки:

$$w_{ш2} = w_{ш1} \frac{q_{ш1}}{q_{ш2}}. \quad (89)$$

Заметим, что при перемотке машины на напряжение, в два раза меньшее первоначального, не нужно перематывать шунтовые катушки, а достаточно пересоединить их в две группы параллельно. Такое пересоединение катушек из последовательного соединения в параллельное равносильно увеличению поперечного сечения проводника в два раза.

4. ПРОВЕРКА УСЛОВИЙ НАДЕЖНОЙ РАБОТЫ МАШИНЫ С НОВЫМИ ОБМОТКАМИ

А. Механическая прочность

Проверка механической прочности машины требует сложных и длительных расчетов. Чаще всего приходится искать ответ на вопрос о возможности повышения числа оборотов машины. Отметим, что с изменением числа оборотов машины мощность ее меняется, а крутящий момент, испытываемый валом, не меняется. Таким образом при повышении числа оборотов машины следует позаботиться в основном о прочности тех деталей, которые испытывают усилия от центробежных сил: бандажи, клинья, коллектор, обмоткодержатели и т. д. Кроме того, повышение числа оборотов влияет на работу подшипников, что также необходимо учесть. В главе IV, посвященной конструкциям, даны формулы для расчета механической прочности бандажей. Что же касается остальных деталей — коллектора, обмоткодержателей и т. д., то ответ на вопрос о достаточности их механической прочности можно иногда найти в фирменных каталогах, где указаны наибольшие числа оборотов, допустимые для данного типа машины. На этот же вопрос можно найти ответ, сравнивая конструкцию машины, подлежащей перемотке, с конструкциями машин того же типа, но имеющих бо̀льшие числа оборотов. Если конструкции этих машин одинаковы, то число оборотов перематываемой машины может быть повышено.

Для сведения можно указать, что все машины типа ПН, изготовляемые союзными заводами (завод «Электросила» им. С. М. Кирова и Харьковский электромеханический завод им. Сталина), имеют одинаковые конструкции для следующих чисел оборотов:

Типы	ПН-5	до	ПН-45	от	750	до	2 800	*об/мин*
»		»	ПН-68	»	750	„	2 000	»
»	ПН-85	»	ПН-290	»	500	„	1 800	»

Мощности этих машин при работе в качестве двигателей для типов от ПН-5 до ПН-85 при 1500 *об/мин* равны от 0,5 до 10 kW и для типов от ПН-100 до ПН-290 при 950 *об/мин* равны от 10 до 30 kW.

Для этих же мощностей и заграничные фирмы Сименс-Шуккерт (SSW), AEG, ASEA и другие имеют одинаковые конструкции при изменении оборотов в указанных выше для типа ПН пределах.

Б. Проверка перегревов

Для того чтобы обмотки перематываемой машины не перегревались, потери в них на джоулево тепло (I^2R) не должны быть выше тех значений, которые имели место в машине до перемотки. Это условие будет соблюдено, если при перемотке сопротивления обмоток будут меняться обратно пропорционально квадрату силы тока, т. е. если сила тока машины увеличилась в два раза, то сопротивление обмотки должно уменьшиться в четыре раза.

Таким образом вопрос о перегреве обмотки решается сравнением сопротивлений новой и старой обмоток.

В ряде случаев, когда приходится восстанавливать обмотки потерпевшей аварию машины или же восстанавливать обмотки старой машины, решать вопрос о перегревах обмотки сравнением сопротивлений невозможно. В этих случаях при решении вопроса о перегревах приходится исходить из допустимых плотностей тока в обмотках.

Нетрудно показать, что потери в обмотке машины на джоулево тепло тем больше, чем выше плотность тока. Действительно, чем выше плотность тока в обмотке, тем тоньше будет проводник для данной силы тока и, следовательно, тем больше будет его сопротивление и потери в нем (I^2R).

Ниже для ориентировки при выборе плотностей тока приведена табл. 19.

Нагрев обмотки якоря, помимо плотности тока, еще обусловлен числом проводников, уложенных на якоре. Чем больше проводников уложено на якоре, тем больше будет его сопротивление и, следовательно, потери (I^2R) и нагрев.

Произведение из числа проводников обмотки якоря на силу тока, протекающего по каждому проводнику, деленное на окружность якоря, носит название линейной нагрузки якоря и обозначается через AS.

Из определения следует, что

$$AS = \frac{I_a N}{2a\pi D_a} \text{ [А/см]}, \qquad (90)$$

Таблица 19

Допустимые плотности тока в обмотках машины при перегреве до 60° С

Исполнение машины	Обмотка якоря, А/мм²	Обмотка добавочных полюсов, А/мм²	Шунтовая обмотка, А/мм²
Машины, мощностью до 150 kW, при числе оборотов от 700 до 1500 *об/мин* с вентилятором на валу	4—5	2,5—3	2,5—3 [1]
Машины открытого типа без вентилятора на валу, мощностью до 500 kW, при числе оборотов 300—750 *об/мин* . .	4—5	1,8, 2,5—3 [2]	1,8—2
Тихоходные машины открытого типа, мощностью до 300 kW, при числе оборотов до 300 *об/мин*	3,5—4,5	1,8—2,5 [2]	1,4—1,6

где I_a — ток якоря;

N — число проводников якоря;

$2a$ — число параллельных ветвей обмотки якоря;

D_a — диаметр якоря в сантиметрах.

Эта величина является характерной для суждения о нагреве якоря и в выполненных машинах имеет следующие значения в зависимости от диаметра якоря в сантиметрах (см. табл. 20).

Таблица 20

D_a. *см*	10	15	20	30	50	60	80	100
AS. А/*см*	100	130	200	300	330	350	350—400	350—400

Эти значения линейной нагрузки допустимы при окружной скорости якоря не ниже 15 *м/сек*. При более низких скоростях значения AS, во избежание перегрева обмотки якоря, должны быть несколько понижены.

В. Проверка изоляции

Изоляция машины для обеспечения ее надежности должна быть выполнена в соответствии с указаниями, которые даны в главе IV.

[1] Для увеличения поверхности охлаждения шунтовые катушки разделены на отдельные шайбы, между которыми имеются каналы для прохода воздуха.

[2] Бóльшие значения плотностей тока относятся к катушкам добавочных полюсов, выполненных из голой меди, намотанной на ребро.

Г. Проверка искрения

Проверка искрения машины требует сложных расчетов и большого опыта, и мы этого вопроса здесь затрагивать не будем. Ограничимся только указаниями на те причины, которые способствуют искрению машины и которых, по возможности, следует избегать при выборе обмотки якоря.

1. Число витков в секции обмотки якоря должно быть по возможности небольшим.

2. При повышенном числе оборотов машины искрение усиливается, поэтому увеличение числа оборотов машины, которая и до перемотки была склонна к искрению, нежелательно.

3. Чем меньше величина линейной нагрузки AS, тем спокойнее работает машина.

4. Плотность под щетками при графитовых щетках не должна быть выше 8—9 $A/см^2$. Далее, во избежание возникновения вольтовой дуги («кругового огня») на коллекторе при повышении напряжения машины обязательно следует проверять напряжение между соседними коллекторными пластинами по формуле:

$$e_к = \frac{2pU}{K} \cdot 2, \tag{91}$$

где U — напряжение на зажимах машины;

K — число коллекторных пластин.

Эта формула справедлива для машин без компенсационной обмотки.

Полученная величина $e_к$ не должна быть больше следующих значений: для машин до 100 kW — 35 V, выше 100 kW — 30 V и для очень маленьких машин, мощностью в 3—5 kW при 1500 *об/мин*, — 40 V.

Д. Коллектор и щетки

При пересчете машины необходимо проверить, подходят ли коллектор и щетки для новых условий работы. Эта проверка должна выявить следующее: 1) соответствует ли марка щеток новым условиям работы машины; 2) не слишком ли велика плотность тока под щетками и, наконец, 3) не будет ли чрезмерно перегреваться коллектор.

Изготовляемые в настоящее время щетки в основном могут быть подразделены на следующие 4 группы.

Твердоугольные щетки — допустимая плотность тока 5—7 $A/см^2$, применяются для машин, напряжением 500 V при скорости коллектора $v_к = 25$ *м/сек*.

Графитовые — допустимая плотность тока до 9—12 $A/см^2$, применяются для машин, напряжением 110—220 V, и для низковольтных машин 10—15 V. Во избежание увеличения потерь на трение щеток о коллектор применяются также в быстроходных машинах на 3000 *об/мин*.

Электрографитовые — плотность тока 8—10 $A/см^2$, применяются в тех же случаях, что и графитовые щетки.

Медно-графитовые — допускают плотность тока до 25—30 $A/см^2$, применяются для низковольтных машин.

Более подробные сведения для выбора марки щеток можно получить в каталоге щеток для электрических машин.

Перегрев коллектора приближенно может быть определен по формуле:

$$\Delta t_к = \frac{C\,(w_{к.\,т} + w_{к.\,п})}{F_к\,(1 + 0{,}1 v_к)}\,. \qquad (92)$$

В этой формуле приняты следующие обозначения:

C — коэфициент, зависящий от условий охлаждения коллектора;

$w_{к.\,п}$ — потери в ваттах на джоулево тепло в контакте между щеткой и коллектором;

$w_{к.\,т}$ — потери на трение щеток о коллектор;

$F_к$ — поверхность охлаждения коллектора в квадратных сантиметрах;

$v_к$ — скорость коллектора в *м/сек*.

Значение коэфициента C колеблется от 60 до 150. Для машин с вентилятором на валу этот коэфициент иногда бывает меньшим 60.

Потери на трение щеток о коллектор можно приближенно определить по формуле

$$w_{к.\,т} = 0{,}35\,F_B \cdot v_к;$$

где F_B — площадь щеток.

Потери в переходном контакте $w_{к.\,п}$ равны для угольных и графитовых щеток $2I$, для медно-графитовых щеток $w_{к.\,п} = I$.

При определении перегрева коллектора принимается во внимание только боковая поверхность коллектора, равная

$$F_к = \pi D_к l_к,$$

где $D_к$ и $l_к$ — диаметр и длина коллектора в сантиметрах.

В виде примера определим перегрев коллектора для случая:

диаметр коллектора . . . . $D_к = 25$ *см*

длина коллектора . . . . . $l_к = 11$ „

На коллекторе расположено 12 щеток, размерами $1{,}6 \times 2{,}5$ *см*^{2}. Число оборотов машины $n = 500$ *об/мин*. Сила тока машины $I = 200$ A. Щетки графитовые.

Окружная скорость коллектора

$$v_к = \frac{\pi D_к n}{6000} = \frac{\pi \cdot 25 \cdot 500}{6000} = 6{,}55 \text{ м/сек}.$$

Контактная площадь щеток

$$F_B = 12 \cdot 1{,}6 \cdot 2{,}5 = 48 \text{ см}^2.$$

Потери на трение щеток о коллектор

$$w_{к.\,т} = 0{,}35 \cdot F_B v_к = 0{,}35 \cdot 48 \cdot 6{,}55 = 110 \text{ W}.$$

Потери в переходном контакте щеток

$$w_{к.\,п} = 2I = 2 \cdot 200 = 400 \text{ W}.$$

Поверхность охлаждения коллектора

$$F_к = \pi D_к l_к = \pi \cdot 25 \cdot 11 = 865 \ см^2.$$

Для расчета перегрева коллектора принимаем $C = 100$, тогда

$$\Delta t_к = \frac{C\,(w_{к.\,т} + w_{к.\,п})}{F_к\,(1 + 0{,}1\,v_к)} = \frac{100\,(110 + 400)}{865\,(1 + 0{,}1 \cdot 6{,}55)} = 35°\ C.$$

При определении перегрева коллектора можно исходить еще из количества потерь, приходящихся на 1 *см*² поверхности охлаждения коллектора. При этом можно руководствоваться следующими цифрами: во избежание перегрева коллектора, длиной 12 *см*, свыше 60°, потери в ваттах на 1 *см*² поверхности охлаждения его не должны быть больше 0,8—1,3 W/*см*² в зависимости от окружной скорости коллектора.

Меньшая цифра относится к 5 *м/сек*, бо́льшая — к 25 *м/сек*. При удлинении коллектора допустимые потери на 1 *см*² поверхности охлаждения его уменьшаются. Так, например, для коллектора, длиной 40 *см*, при тех же скоростях, как для предыдущего случая, допустимые потери равны 0,5 W/*см*² и 1 W/*см*².

Для коллекторов, длина которых меньше 40, но больше 12 *см*, допустимые потери на 1 *см*² лежат в указанных выше пределах, т. е. при скорости 5 *м/сек* — от 0,5 до 0,8 W/*см*² и при скорости 25 *м/сек* — от 1 до 1,3 W/*см*².

Если потери на 1 *см*² поверхности коллектора не будут превосходить эти цифры, то можно рассчитывать, что коллектор не перегреется.

5. ПРИМЕРЫ ПЕРЕСЧЕТОВ

К перемотке машины, в основном, приходится прибегать в следующих случаях:

1. Требуется изменить напряжение на зажимах машины (двигателя, генератора), не меняя числа оборотов ее.
2. При старом напряжении, указанном на щитке машины, требуется использовать машину для работы при новом числе оборотов.
3. Необходимо изменить число оборотов и напряжение машины.
4. Изменяется род возбуждения машины, — например шунтовой двигатель нужно перемотать на сериесный.
5. Перемотка машины для возможности использования ее для специальных целей, — например в качестве сварочной машины или в качестве преобразователя.

Пример. Двигатель, мощностью $P = 4$ kW, работающий при напряжении $U = 220$ V, силе тока $I = 22$ *A* и числе оборотов $n = 1500$ *об/мин*, требуется пересчитать на напряжение $U_2 = 110$ V. Число оборотов двигателя должно остаться прежним.

Данные обмоток электродвигателя следующие.

Число полюсов $2p = 4$.

Обмотка якоря — простая волновая: $a=1$.

Число пазов . . . . $Z=29$
Число проводников в пазу . . $s_{n1}=30$
Число витков в секции . . . . $w_{S1}=5$

Обмотка добавочных полюсов.

Число витков на полюс . . . . $w_{д.п.1}=75$
Проводник обмотки добавочных полюсов круглый и диаметр его без изоляции . . 2,83 *мм*

Соединение катушек добавочных полюсов — последовательное.

Шунтовая обмотка.

Число витков в катушке . . . . . $w_{ш1}=1750$
Диаметр проводника . . . . 0,55 *мм*

Соединение катушек полюсов — последовательное.

Коллектор.

Число пластин . . . . $K=87$
Диаметр . . . . $D_к=13$ *см*
Длина . . . . $l_к=4{,}5$ *см*

Щетки графитовые.

Траверса имеет 4 пальца; на каждом пальце по 2 щетки. Размеры щетки: ширина — 1 *см*, длина по оси коллектора — 1,5 *см*.

Пересчет машины начнем с проверки коллектора — подходит ли он для новой силы тока. При понижении напряжения машины в два раза (с 220 до 110 V) для сохранения мощности все обмотки машины и коллектор должны быть рассчитаны на силу тока I_2, в два раза бóльшую старой силы тока, т. е. на силу тока $I_2=2I=2\cdot22=44$ A.

Опытами установлено, что коллектор не будет перегреваться сверх допустимой нормы температуры (60° C), если на 1 A силы тока машины будет приходиться около 4 *см*² поверхности охлаждения коллектора.

В нашем примере поверхность охлаждения коллектора равна $\pi D_к l_к=\pi\cdot13\cdot4{,}5=183{,}5$ *см*². Разделив эту поверхность охлаждения на 4, получим допустимую силу тока для коллектора:

$$I=\frac{183{,}5}{4}\approx46 \text{ A}.$$

Так как сила тока в машине должна быть равна $I_2=44$ A, то опасаться перегрева коллектора не следует.

Проверим еще плотность тока под щетками при новой силе тока. Ток попадает в якорь через половину общего числа щеток и через другую половину щеток выходит из якоря. Поэтому для определения плотности тока под щетками нужно силу тока машины разделить на площадь половины всех щеток, т. е. плотность тока под щетками равна

$$\frac{I_2}{\frac{\text{площадь щеток}}{2}}=\frac{44}{2\cdot2\cdot1\cdot1{,}5}=7{,}3 \text{ A/см}^2.$$

Полученное значение плотности тока под щетками находится в допустимых пределах. Для графитовых щеток допустима плотность тока 8—10 А/*см*^{2}.

Таким образом коллектор машины при сохранении старых щеток не препятствует переделке машины на 110 V.

Новое число проводников в пазу получим по ф-ле (78), причем примем $a_1 = a_2$, а $n_1 = n_2$ по заданию:

$$s_{n2} = s_{n1} \frac{E_2 n_1 a_2}{E_1 n_2 a_1} = 30 \cdot \frac{110}{220} = 15.$$

Полученное число проводников в пазу необходимо округлить до четного числа с тем, чтобы в верхнем и нижнем слоях обмотки якоря лежали одинаковые числа проводников. Примем $s_{n2} = 14$; это вызовет незначительное повышение числа оборотов двигателя, а именно в отношении $\frac{15}{14} = 1{,}07$, т. е. на 7%.

Для того чтобы плотность тока в обмотке якоря не увеличилась, поперечное сечение витков обмотки якоря должно быть увеличено в два раза. Это будет достигнуто, если каждый виток обмотки якоря будет состоять из двух проводников, диаметром 1,68 *мм*, соединенных параллельно. При такой намотке число проводников в пазу равно 28. Это число проводников на два проводника меньше прежнего числа проводников в пазу; размеры же проводников в обоих случаях одинаковые, поэтому новая обмотка свободно уложится в старые пазы.

Новое число витков в секции должно быть во столько раз меньше старого числа витков в секции, во сколько раз новое число проводников в пазу меньше старого числа, т. е. число витков в секции должно равняться

$$w_{s2} = w_{s1} \frac{s_{n2}}{s_{n1}} = 5 \cdot \frac{14}{30} = 2{,}33.$$

Так как число витков в секции не может быть дробным, то секции обмотки якоря должны будут выполняться с разными числами витков, а именно: две секции по два витка и одна секция с тремя витками. При таком выполнении среднее число витков в секции будет равно 2,33, что легко проверить

$$\left(\frac{2 \cdot 2 + 3}{3} = 2{,}33\right).$$

Добавочные полюса. Новое число витков обмотки добавочных полюсов определяем по ф-ле (84); при этом $a_1 = a_2$ и $a_{д.\,п.\,1}$ примем равным $a_{д.\,п.\,2}$; тогда

$$w_{д.\,п.\,2} = \frac{N_2}{N_1} w_{д.\,п.\,1} = \frac{14}{30} \cdot 75 = 35.$$

Таким образом по пересчету обмотка добавочных полюсов должна иметь по 35 витков на полюс, и поперечное сечение проводника ее должно быть в два раза больше поперечного сечения старого проводника.

Однако в этом случае можно попытаться обойтись без перемотки полюсов, а ограничиться пересоединением их в две группы — параллельно.

Такое пересоединение полюсов равносильно уменьшению числа витков на полюс в два раза, так как по каждой катушке будет проходить половинный ток машины, т. е. число витков на полюс будет равно 37,5 витка. Это число витков больше необходимого по расчету на 2,5 витка. Увеличенное число витков на полюс может быть скомпенсировано незначительным увеличением воздушного зазора под добавочными полюсами машины.

Шунтовые катушки в этом случае достаточно присоединить в две группы параллельно.

Пример. Генератор, мощностью $P = 145$ kW, напряжением $U_1 = 230$ V и числом оборотов $n_1 = 600$ *об/мин*. Требуется пересчитать на напряжение 460 V.

Данные машины

Обмотка генератора.

Число полюсов машины . . . . . . $2p = 6$
Число пазов якоря . . . . $Z = 100$
Число проводников в пазу . . . . . $s_{n1} = 4$
Обмотка якоря сложно-волновая . . . $a_1 = 2$

Обмотка добавочных полюсов.

Число витков на полюсе . . . . . . $w_{д.п.} = 10$
Размеры меди . . . . 4×80 *мм*

Шунтовая обмотка.

Число витков на полюсе . . . . . . $w_п = 850$
Размеры меди . . . . ⌀ 2,26 *мм*
$q_ш = 4$ *мм*^{2}

Коллектор.

Число коллекторных пластин . . . . $K = 200$
На каждый палец по 5 щеток, размером . . . . 16×30 *мм*

Пересчет этой машины начнем с обмотки якоря. Из формулы для э. д. с. машины

$$E = \frac{pn}{60} \cdot \frac{N}{a} \cdot \Phi \cdot 10^{-8} \text{ V}$$

видно, что для того чтобы увеличить э. д. с. машины в два раза при сохранении неизменными магнитного потока Φ и числа оборотов n, можно либо увеличить число проводников обмотки якоря N в два раза, либо же уменьшить число пар параллельных ветвей в два раза, оставив старое число проводников обмотки якоря. В нашем примере число пар параллельных ветвей обмотки $a_1 = 2$, и это число можно уменьшить в два раза, т. е. перейти к простой волновой обмотке с $a_2 = 1$. Для того чтобы решить, допустимо ли это, необходимо проверить, выполнима ли простая волновая обмотка для старого числа коллекторных пластин, т. е. равен ли шаг по коллектору целому числу и не

слишком ли большое напряжение получается между коллекторными пластинами. Шаг по коллектору для простой волновой обмотки

$$y_к = \frac{K+1}{p} = \frac{200+1}{3} = 67.$$

Полученный результат показывает, что для нашего случая простая волновая обмотка выполнима.

Напряжение же между коллекторными пластинами при работе машины на 460 V будет равно

$$e_к = \frac{2pU}{K} \cdot 2 = \frac{6 \cdot 460}{200} \cdot 2 = 27{,}6 \text{ V},$$

что не вызывает опасений в отношении возникновения «кругового огня» на коллекторе.

Таким образом проверки выполнимости обмотки и напряжения между коллекторными пластинами дали благоприятные результаты, и вся перемотка якоря будет состоять только в изменении шага по коллектору.

При такой перемотке якоря сила тока в параллельной ветви останется неизменной, так как с увеличением напряжения в два раза в два раза уменьшилась общая сила тока машины и во столько же раз уменьшилось число параллельных ветвей обмотки якоря.

Обмотка добавочных полюсов. Новое число витков обмотки добавочных полюсов получаем по ф-ле (84); при этом примем $a_{д.\,п.\,1} = a_{д.\,п.\,2}$, а $N_1 = N_2$ из пересчета; тогда

$$w_{д.\,п.\,2} = w_{д.\,п.\,1}\,\frac{a_1}{a_2} = 10 \cdot \frac{2}{1} = 20.$$

Таким образом на добавочный полюс нужно намотать 20 витков; поперечное сечение проводника можно уменьшить в два раза, так как при этом плотность тока в обмотке не увеличится, и следовательно, потери в ней останутся неизменными.

Шунтовая обмотка может быть оставлена старой, но при этом последовательно с ней придется включать реостат, в котором бесполезно будет расходоваться энергия. В самом деле, для получения прежнего магнитного потока сила тока в обмотке возбуждения должна остаться неизменной. Так как напряжение на зажимах шунтовой обмотки увеличилось в два раза, то это может быть выполнено, если последовательно с шунтовой обмоткой включить сопротивление, равное ее сопротивлению. Для того чтобы избежать бесполезного расхода энергии в реостате и необходимости иметь этот реостат, нужно шунтовую обмотку перемотать. Поперечное сечение проводника шунтовой обмотки определяем по ф-ле (88):

$$q_{ш2} = q_{ш1}\,\frac{U_1}{U_2} = 4 \cdot \frac{230}{460} = 2 \text{ мм}^2.$$

Этому поперечному сечению соответствует проволока, диаметром 1,6 *мм*. Так как такой в стандарте нет, то необходимо взять следующий большой размер, имеющий диаметр 1,68 и сечение $q_{ш2} = 2{,}21$.

Число витков обмотки нужно изменить обратно пропорционально поперечному сечению, т. е. новое число витков обмотки будет равно

$$w_{ш2} = w_{ш1} \frac{q_{ш1}}{q_{ш2}} = 850 \cdot \frac{4}{2,21} = 1530 \text{ витков}.$$

ГЛАВА XVIII

ПЕРЕСЧЕТ СТАТОРНЫХ ОБМОТОК СИНХРОННЫХ И АСИНХРОННЫХ МАШИН

Ввиду того, что электрический расчет обмоток указанных машин требует учета многочисленных факторов, которые в настоящей книге совершенно не затрагивались, и требует от работника высокой квалификации, а также большой практики по расчету машин, мы в настоящей главе коснемся только самых простых случаев пересчетов.

1. ПЕРЕСЧЕТ ОБМОТОК НА ДРУГОЕ НАПРЯЖЕНИЕ

Будем считать, что при старом напряжении машина работала вполне удовлетворительно. Поэтому нашей задачей является — не нарушить удовлетворительной работы машины переделкой обмотки на другие напряжения.

Приступая к пересчету, необходимо в первую очередь выяснить вопрос об новой изоляции обмотки, т. е. выяснить, какая будет пазовая и витковая изоляция при новом напряжении.

Если новое напряжение выше старого и требует более сильной изоляции, то пространство для меди в пазу уменьшится, что может привести к перегреву обмотки при номинальной нагрузке машины. В этих случаях приходится снижать номинальную мощность и к пересчету обмоток следует относиться осторожно.

Здесь мы рассмотрим только такие пересчеты обмоток, которые не требуют усиления изоляции, т. е. рассмотрим пересчет или на более низкое напряжение, или на напряжение, для которого изоляция обмотки остается старой.

При пересчете необходимо выполнять следующие два требования:

1) магнитный поток должен оставаться без изменения, или, в крайнем случае, это изменение не должно быть больше 5%;

2) объем тока в пазу должен оставаться без изменения, или, в крайнем случае, это изменение не должно быть больше 5%.

Оставляя для перемотанной машины магнитный поток и объем тока в пазу старыми, мы тем самым оставляем без изменения загрузку машины магнитным потоком и током. В этом случае обмотка статора и вторая обмотка машины — обмотка ротора будут работать в тех же самых условиях. В этом случае обмотку ротора как в синхронной, так и в асинхронной машине оставляют нетронутой.

Из курса электрических машин известно, что

$$\text{э. д. с.} = k \cdot w \cdot \Phi,$$

где k — постоянный коэфициент;

w — число последовательно соединенных витков одной фазы обмотки;

Φ — магнитный поток одного полюса.

Пренебрегая падением напряжения в обмотке статора, в общем случае незначительным и одинаковым для старой и новой машины, можем принять э. д. с. равной напряжению на зажимах.

Примем следующие обозначения:

$U_{стар}$ — напряжение на зажимах старой машины;

$U_{нов}$ — напряжение на зажимах новой машины;

a — число параллельных ветвей.

При старой обмотке магнитный поток был равен

$$\Phi = \frac{\text{э. д. с.}_{стар}}{k \cdot w_{стар}} = \frac{U_{стар}}{kw_{стар}}.$$

Чтобы сохранить этот поток и при новой обмотке, нужно подобрать витки $w_{нов}$, исходя из равенства:

$$\frac{\text{э. д. с.}_{нов}}{kw_{нов}} = \frac{\text{э. д. с.}_{стар}}{kw_{стар}}.$$

Получим:

$$w_{нов} = w_{стар}\frac{\text{э. д. с.}_{нов}}{\text{э. д. с.}_{стар}} = w_{стар}\frac{U_{нов}}{U_{стар}}.$$

Объем тока в пазу равен:

$$s_n \cdot \frac{I}{a},$$

где s_n — число последовательно соединенных проводников в одном пазу;

I — сила тока в фазе.

При сохранении мощности машины сила тока будет меняться обратно пропорционально напряжению:

$$\frac{I_{нов}}{I_{стар}} = \frac{U_{стар}}{U_{нов}}.$$

Таким образом, чтобы сохранить объем тока в пазу, нужно, чтобы

$$s_{n.\ нов.} \cdot \frac{I_{нов}}{a_{нов}} = s_{n.\ стар} \cdot \frac{I_{стар}}{a_{стар}}.$$

Отсюда получаем

$$s_{n.\ нов} = s_{n.\ стар} \cdot \frac{I_{стар}}{I_{нов}} \cdot \frac{a_{нов}}{a_{стар}} = s_{n.\ стар} \cdot \frac{U_{нов}}{U_{стар}} \cdot \frac{a_{нов}}{a_{стар}}.$$

Обозначим через Z число пазов статора, тогда полное число проводников обмотки равно $Z \cdot s_n$ и число последовательно соединенных витков в фазе $w = Z \cdot s_n/2ma$, где m число фаз.

При перемотке Z и m остаются старыми

$$w_{стар} = \frac{Z \cdot s_{n.\,стар}}{2ma_{стар}},$$

$$w_{нов} = \frac{Z \cdot s_{n.\,нов}}{2ma_{нов}}.$$

Таким образом

$$\frac{w_{нов}}{w_{стар}} = \frac{Z \cdot s_{n.\,нов} \cdot 2ma_{стар}}{2ma_{нов} \cdot Z \cdot s_{n.\,стар}} = \frac{s_{n.\,нов} \cdot a_{стар}}{s_{n.\,стар} \cdot a_{нов}}.$$

Отсюда

$$w_{нов} = w_{стар} \frac{s_{n.\,нов} \cdot a_{стар}}{s_{n.\,стар} \cdot a_{нов}}.$$

Так как

$$s_{n.\,нов} = s_{n.\,стар} \frac{U_{нов} \cdot a_{нов}}{U_{стар} \cdot a_{стар}},$$

то

$$w_{нов} = w_{стар} \frac{s_{n.\,стар} \cdot \frac{U_{нов}}{U_{стар}} \cdot \frac{a_{нов}}{a_{стар}}}{s_{n.\,стар}} \cdot \frac{a_{стар}}{a_{нов}} = w_{стар} \cdot \frac{U_{нов}}{U_{стар}}.$$

Таким образом, для того чтобы сохранить прежними магнитный поток и объем тока в пазу, нужно число эффективных проводников в пазу изменять согласно выражению

$$\frac{s_{n.\,нов}}{s_{n.\,стар}} = \frac{U_{нов}}{U_{стар}} \cdot \frac{a_{нов}}{a_{стар}}. \quad (93)$$

Если при перемотке тип обмотки остается прежним, то число эффективных витков в катушке нужно изменить согласно изменению s_n.

Для того чтобы обмотка не перегрелась, нужно изменить сечение меди параллельной ветви.

Обозначим это сечение через q_a.

При выборе сечения меди нужно следить, чтобы плотность тока s_a оставалась без изменения

$$s_a = \frac{\text{ток параллельной ветви}}{\text{сечение меди параллельной ветви}} = \frac{\frac{I}{a}}{q_a}.$$

Можно написать:

$$s_{a\,стар} = \frac{\frac{I_{стар}}{a_{стар}}}{q_{a\,стар}},$$

$$s_{a\,нов} = \frac{\frac{I_{нов}}{a_{нов}}}{q_{a\,нов}}.$$

Отсюда получаем, что при $s_{a\ нов} = s_{a\ стар}$

$$\frac{\frac{I_{нов}}{a_{нов}}}{q_{a\ нов}} = \frac{\frac{I_{стар}}{a_{стар}}}{q_{a\ стар}},$$

$$q_{a\ нов} = q_{a\ стар} \frac{I_{нов}}{I_{стар}} \cdot \frac{a_{стар}}{a_{нов}}.$$

Выше мы нашли, что

$$s_{п.\ нов} = s_{п.\ стар} \frac{I_{стар}}{I_{нов}} \cdot \frac{a_{нов}}{a_{стар}}.$$

Таким образом

$$\frac{I_{нов}}{I_{стар}} \cdot \frac{a_{стар}}{a_{нов}} = \frac{s_{п.\ стар}}{s_{п.\ нов}}.$$

Отсюда получаем

$$q_{a\ нов} = q_{a\ стар} \frac{s_{п.\ стар}}{s_{п.\ нов}} \qquad (94)$$

или

$$q_{a\ нов} \cdot s_{п.\ нов} = q_{a\ стар} \cdot s_{п.\ стар},$$

т. е. при неизменной плотности тока общее сечение меди в пазу должно оставаться без изменения. Ф-ла (93) показывает, что наиболее простым способом перемотки будет изменение параллельных ветвей обратно пропорционально изменению напряжения.

Действительно, если не изменять числа проводников в пазу, т. е. если

$$s_{п.\ нов} = s_{п.\ стар},$$

то по ф-ле (93):

$$U_{нов} \cdot a_{нов} = U_{стар} \cdot a_{стар}.$$

Кроме того, по ф-ле (94)

$$q_{a\ нов} = q_{a\ стар}.$$

Таким образом в этом случае нужно только произвести пересоединения катушечных групп.

Ясно, что к этому способу можно прибегать только в тех случаях, когда обмотка позволяет иметь требующееся $a_{нов}$.

2. ПРИМЕРЫ ПЕРЕСЧЕТОВ

Пример. Требуется перемотать статор асинхронного двигателя с 127/220 V на 220/380 V.

Известны следующие данные.

Число эффективных проводников в пазу $s_{п.\ стар} = 42$.

Число параллельных ветвей $a_{стар} = 2$.

Диаметр медного круглого голого проводника 1,56 *мм*, диаметр проводника с изоляцией 1,81 *мм*.

Сопряжение фаз до и после перемотки очевидно нужно оставить тем же, так как при двойном напряжении сети сопряжение может быть только $\triangle/\curlywedge$, причем сопряжение $\triangle$ применяется для меньшего напряжения, а $\curlywedge$ — большего. Таким образом:

$$U_{стар\,\triangle} = 127\ V$$

$$U_{стар\,\curlywedge} = 220\ V$$

$$U_{нов\,\triangle} = 220\ V$$

$$U_{стар\,\curlywedge} = 380\ V$$

В дальнейшем будем считать, что старая обмотка сопряжена в $\triangle$ и $U_{стар} = 127$ V и что новую обмотку нужно выполнить при $\triangle$ с $U_{нов} = 220$ V.

Из ф-лы (93) находим

$$\frac{s_{п.\ нов}}{s_{п.\ стар}} = \frac{U_{нов} \cdot a_{нов}}{U_{стар} \cdot a_{стар}} = \frac{220 \cdot a_{нов}}{127 \cdot 2}.$$

Возьмем $a_{нов} = 1$, тогда

$$s_{п.\ нов} = s_{п.\ стар} \frac{220 \cdot 1}{127 \cdot 2} = 42 \frac{220 \cdot 1}{127 \cdot 2} = 36{,}4.$$

Так как число проводников в пазу s_n должно быть целым числом, а в двухслойных обмотках, кроме того, должно делиться на два, т. е. быть четным числом, то берем

$$s_{п.\ нов} = 36,$$

при этом магнитный поток увеличится на 1% $\left(\frac{36{,}4}{36} = 1{,}01\right)$. Из ф-лы (94) находим:

$$q_{a\ нов} = q_{a\ стар} \cdot \frac{s_{п.\ стар}}{s_{п.\ нов}} = q_{a\ стар} \cdot \frac{42}{36}.$$

Сечение одной параллельной ветви старой обмотки при ординарной меди, диметром 1,56 *мм*, будет равно:

$$q_{a\ стар} = \frac{\pi}{4} 1{,}56^2 = 1{,}91\ мм^2.$$

Таким образом

$$q_{a\ нов} = 1{,}91 \frac{42}{36} = 2{,}23\ мм^2,$$

и диаметр ординарного проводника будет равен

$$\frac{\pi}{4} d_{нов}^2 = q_{a\ нов},$$

$$d_{нов} = \sqrt{\frac{4}{\pi} q_{a\ нов}} = \sqrt{\frac{4}{\pi} 2{,}23} = 1{,}68\ мм.$$

По сортаменту берем медь диаметром 1,68/1,93.

Общее сечение меди в пазу было равно:
для старой обмотки

$$s_{п.\ стар} \cdot q_{a\ стар} = 42 \cdot 1{,}91 = 80{,}3\ мм^2;$$

для новой обмотки

$$s_{п.\ нов} \cdot q_{a\ нов} = 36 \cdot 2{,}23 = 80{,}4\ мм^2,$$

т. е. почти то же самое.

Теперь проверим новую обмотку в отношении укладки в паз. Общее сечение изолированной меди в пазу для старой обмотки было равно $s_{п.\ стар} \cdot q'_{a\ стар} = 42 \cdot 2{,}58 = 108{,}5\ мм^2$, где $q'_{a\ стар} = \frac{\pi}{4}\,1{,}81^2 = 2{,}58$ — сечение изолированного проводника в $мм^2$.

Для новой обмотки:

$$q'_{a\ нов} = \frac{\pi}{4}\,1{,}93^2 = 2{,}93\ мм^2$$

и

$$s_{п.\ нов} \cdot q'_{a\ нов} = 36 \cdot 2{,}93 = 105{,}5\ мм^2.$$

Таким образом сечение изолированной меди в пазу новой обмотки несколько меньше, а поэтому в отношении укладки в паз затруднений не должно быть.

Чтобы выполнить новую обмотку, нужно изготовить столько же катушек и с таким же шагом, что и в старой обмотке. Число витков в катушке должно быть $\frac{s_{п.\ нов}}{2} = \frac{36}{2} = 18$ вместо $\frac{s_{п.\ стар}}{2} = \frac{42}{2} = 21$, и диаметр провода — 1,68/1,93 вместо 1,56/1,81.

Катушечные группы фазы должны быть соединены последовательно вместо соединений в две параллельные ветви.

Пример. Требуется перемотать статор с 6000 V на 3000 V.

При перемотке обмотки на более низкое напряжение изоляцию паза оставляем старой. Так как для сохранения потока Ф число последовательно соединенных витков в фазе нужно изменять прямо пропорционально напряжению, то

$$\frac{w_{нов}}{w_{стар}} = \frac{U_{нов}}{U_{стар}} = \frac{3000}{6000} = \frac{1}{2};$$

Но

$$w = \frac{Z \cdot s_п}{2ma},$$

поэтому

$$\frac{w_{нов}}{w_{стар}} = \frac{\dfrac{Z \cdot s_{п.\ нов}}{2ma_{нов}}}{\dfrac{Z \cdot s_{п.\ стар}}{2ma_{стар}}} = \frac{s_{п.\ нов} \cdot a_{стар}}{s_{п.\ стар} \cdot a_{нов}} = \frac{1}{2};$$

В тех случаях, когда можно взять $a_{нов} = 2a_{стар}$, получим

$$\frac{s_{п.\,нов} \cdot a_{стар}}{s_{п.\,стар} \cdot a_{нов}} = \frac{s_{п.\,нов} \cdot a_{стар}}{s_{п.\,стар} \cdot 2a_{стар}} = \frac{s_{п.\,нов} \cdot 1}{s_{п.\,стар} \cdot 2} = \frac{1}{2},$$

т. е. в этом случае можно оставить $s_{п.\,нов} = s_{п.\,стар}$, и вся перемотка будет заключаться в соединении катушечных групп в два раза большее число параллельных ветвей.

В тех случаях, когда нельзя увеличивать в два раза число параллельных ветвей, приходится брать $a_{нов} = a_{стар}$. Тогда получим, что $s_{п.\,нов} = \frac{1}{2} s_{п.\,стар}$, т. е. число последовательно соединенных проводников в пазу необходимо уменьшить в два раза.

Если, например, при 6000 V и $a_{нов} = 1$ в пазу было $s_п = 20$ двойных проводников, размером $\frac{3{,}8 \times 1{,}81}{4{,}05 \times 2{,}06}$ (верхние размеры относятся к голой меди, а нижние — к изолированной), то при 3000 V и $a = 1$ нужно взять $s_п = 10$ четверных проводников тех же размеров.

ОТДЕЛ ШЕСТОЙ

ОРГАНИЗАЦИЯ ТРУДА И НОРМИРОВАНИЕ

ГЛАВА XIX

ОРГАНИЗАЦИЯ ТРУДА И РАБОЧЕГО МЕСТА

1. ОРГАНИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВА В ОБМОТОЧНЫХ МАСТЕРСКИХ

А. Производственные процессы

Изготовление обмоток электродвигателей, генераторов и других электрических машин на крупных заводах производится несколькими мастерскими, каждая из которых выполняет какую-либо часть всего технологического цикла.

Обработка получаемой от специальных заводов обмоточной меди — в целях придания ей формы катушек, роторных стержней, якорных секций и т. д. — производится в заготовительно-намоточной мастерской.

В зависимости от вида меди (изолированной или голой — полосовой), конструкции обмоток и способа их изготовления обмотке придается форма либо на специальных намоточных станках — намотчиками, либо методом слесарной обработки — слесарями.

Из заготовительно-намоточной мастерской продукция в виде полуфабриката переходит в изоляционную мастерскую.

Здесь заготовленная обмотка покрывается различными изоляционными материалами (слюда, ткани, лаки) или вручную или с помощью специальных приспособлений и устройств, как то: изоляционных и обкаточных станков, гидравлических или паровых прессов, компаундных котлов и т. п. Эта работа выполняется специальными рабочими: изолировщиками, прессовщиками и компаундировщиками.

Пройдя изоляционную мастерскую, готовая обмотка отправляется в обмоточную мастерскую.

Параллельно в металлообрабатывающих мастерских штампуется активное железо, затем собирается и спрессовывается на валу якоря или ротора или же на корпусе статора, после чего также поступает в обмоточную мастерскую.

Здесь выполняется последняя часть технологического цикла, а именно сборка обмотки на железе якоря, ротора или статора.

Этот процесс состоит из следующих основных частей:

1. Предварительная изолировка соприкасающихся с обмоткой деталей (обмоткодержатели якоря или ротора, стяжные кольца на статоре и др.).

2. Собственно сборка (называемая также обмоткой) — основной рабочий процесс по укладке катушек, стержней или секций в пазы железа.

3. Выполнение соединений вложенной в железо обмотки между собою по определенной схеме.

4. Пайка или сварка мест соединений проводов между собою.

5. Изолировочные операции, имеющие целью покрытие наружных частей вложенной обмотки изоляционными материалами.

6. Операции по креплению вложенной обмотки, как то: установка проволочных бандажей на якоре и роторе, установка капп на ротор турбогенератора, крепление лобовых частей статорной обмотки к корпусу помощью специальных болтов, накладок, бандажей из шпагата и т. п.

7. Операции по контрольному испытанию в процессе сборки обмотки на электрическую прочность.

8. Пропитка и пульверизация специальными лаками обмотанных изделий и сушка их.

Таковы основные работы, входящие в процесс, объединяемый общим наименованием — обмоточные работы.

Б. Виды производства

Различают три основных вида производства:

1. Единичное, или штучное, производство, в котором какое-либо изделие выполняется в одном или нескольких экземплярах, исполняемых не постоянно, а через большие промежутки времени. Характерным, следовательно, для этого вида производства является слишком большое разнообразие в изготовляемых изделиях.

2. Серийное производство, которое характерно тем, что изделия выполняются отдельными партиями, причем их прохождение в процессе производства происходит периодически.

3. Наконец массовое производство, т. е. неизменное в течение длительного периода времени выполнение одних и тех же изделий, проходящих в производстве крупными партиями. Отсюда приспособление всех организационных и технических средств производства к определенному постоянству условий процесса изготовления этих изделий, обеспечивающее высокую эффективность: максимальная автоматизация, механизация и диференциация труда.

В прямой зависимости от перечисленных выше видов производства, их характера находится и организация труда в обмоточных мастерских. Мастерские, выполняющие ремонт электрических машин и, следовательно, имеющие чрезвычайно разнообразную и случайную загрузку, обычно дают пример наиболее примитивных форм организации труда.

В этих условиях весь производственный цикл обмоточных работ выполняется рабочим-обмотчиком. Нередко он выполняет не только обмотку восстанавливаемой машины, но и изготовление этой обмотки.

В единичном производстве мы уже видим некоторое разделение функций.

Выделяются часть изолировочных операций, пропитка и пульверизация, выполняемые специальными рабочими — изолировщиками и пропитчиками. Появляются и монтеры, производящие контрольное испытание обмоток. Однако за обмотчиком остаются все остальные операции и сохраняется ведущее непосредственное участие во всем процессе. Например в мастерских, обматывающих крупные машины (турбогенераторы, гидрогенераторы и т. п.), где работа выполняется одновременно группой обмотчиков под руководством старшего, последний, непосредственно выполняя работу, одновременно на протяжении всего процесса обмотки дает указания, наблюдает за ходом работы и распределяет отдельные простые операции между подручными обмотчиками и вспомогательной рабочей силой — изолировщиками, выполняя таким образом не только функции обмотчика, но и инструктора и организатора рабочего процесса. В этих условиях уже замечаются некоторые элементы разделения труда, характерные для серийного и массового производства.

В серийном производстве это разделение труда принимает более четкие формы.

Дополнительно выделяются специальные рабочие для отделочных операций: бандажисты, паяльщики, резчики изоляции и т. д.

Труд обмотчика все более и более освобождается от выполнения вспомогательных операций и концентрируется непосредственно на сборке обмотки.

Далее, в зависимости от объема производства, ликвидируется универсальное использование обмотчика на обмотке всех видов изделий: статора, ротора, якоря.

Появляются специалисты — обмотчики статорщики, якорщики, роторщики. Выполнение обмотки статора, в свою очередь, разделяется между статорщиком-укладчиком и статорщиком по соединению и т. п.

Наиболее законченные формы разделения труда мы видим в массовом производстве, где весь процесс поделен на ряд мелких операций, прикрепленных к соответствующим исполнителям.

Такая организация труда дает возможность сложный процесс выполнять менее квалифицированной рабочей силой, а для последней создаются условия быстрого приобретения необходимого навыка и темпа в работе, обеспечивающих наиболее высокую производительность труда.

В табл. 21 приведен пример, иллюстрирующий различные методы построения производственного процесса и использования рабочей силы в обмоточных мастерских в зависимости от характера производства.

В. Оборудование рабочего места обмотчика

Ознакомившись с различными видами производств и использования рабочей силы, перейдем к рассмотрению средств производства.

Оборудование обмоточной мастерской может быть разбито на следующие основные группы:

I. Оборудование рабочего места.

II. Специальные станки и устройства.

Таблица 21

Сравнительная таблица использования рабочей силы в зависимости от характера производства

Процесс: обмо ка якоря.

Характер производства →	Ремонтно-обмоточная мастерская		Серийное производство							
	Наименование профессии и разряд рабочего									
Операции	Обмотчик 5-го разряда	Мастер	Изолировщик 2—3-го разряда	Резчик-изолировщик 2-го разр.	Не выполняется	Обмотчик якорей 4-го разряда	Монтер испытательного станда	Паяльщик 3-го разряда	Бандажист 3-го разряда	Мастер
Изолировка обмоткодержателей	○		○							
Пробная укладка секции и подгонка изоляции	○				○					
Проверка железа и коллектора	○						○			
Нарезка изоляции	○			○						
Укладка коробок в пазы якоря	○		○							
Укладка секций в пазы якоря	○					○				
Подгонка пазовых клиньев	○				○					
Заклинка пазов	○					○				
Испытание якоря	○	○					○			
Пайка якоря	○							○		
Бандажировка якоря	○								○	
Окончательная проверка и сдача обмотанного якоря	○	○								○

Кружками отмечены операции, выполняемые отдельными профессиями.

III. Общие устройства и оборудование.

IV. Транспортные и подъемные средства.

В зависимости от веса и габаритов обматываемых изделий обработка последних может происходить либо на рабочем столе (верстак), либо же на специальной сборочной площадке.

Поэтому в первом случае верстак используется и как рабочая площадка, на которой выполняется вся работа, и в то же время она является местом хранения инструмента, чертежей, схем и вспомогательных обмоточных материалов.

Во втором случае вся работа сосредоточивается на сборочной площадке; на верстаке же складываются идущие в работу обмотки и прочие детали, а также выполняются вспомогательные операции.

Для установки изделия в удобное для работы положение рабочее место снабжается различного рода держателями в виде простых деревянных подставок, обеспечивающих прочную установку изделия, или же специальным устройством, облегчающим повороты изделия в процессе работы в нужное положение. На сборочных площадках для установки крупных изделий применяют массивные деревянные тумбы и стелюги.

При обмотке особо крупных изделий (роторов, турбогенераторов, особо мощных якорей) на сборочной площадке у изделия устраиваются специальные помосты, облегчающие обмотчику доступ к любым участкам изделия. Так как вращение этих изделий вручную отнимает много времени и сил, то применяются специальные приспособления с моторным приводом. Основная задача всех указанных приспособлений и сооружений заключается в том, чтобы обеспечить обмотчику в процессе работы удобную установку изделия в правильное положение, соответствующее его росту, и тем самым сохранить его силы и избежать ненужных затрат времени, связанных с лишними движениями. Работа в неудобном, согнутом или, наоборот, вытянутом положении тела и рук неизбежно ведет к утомлению.

Далее, в удобных и легко доступных и не мешающих работе местах к рабочему месту доставляются сжатый воздух, необходимый для продувки изделия от мелких посторонних предметов и грязи и для приведения в действие пневматического молотка, применяемого при заклинке клиньев. газ и электрическая энергия, необходимые для нагрева газовых или электрических паяльников, печей для нагрева обмотки перед укладкой ее в пазы, для различного рода электрических испытаний и, наконец, для освещения.

Если непосредственно на рабочем месте производится испытание обмоток током, напряжение которого опасно для жизни, то рабочее место снабжается необходимым устройством для ограждения машины в период ее испытания (переносные загородки, протянутая веревка и т. п.) в целях избежания несчастных случаев. Для этого используются также предостерегающие плакаты, световые и звуковые сигналы.

Инструмент обмотчика может быть разбит на две группы. В первую группу входит инструмент, находящийся у обмотчика в его инструментальном ящике, как то: ножницы, ножи, плоскогубцы, острогубцы, ручники обыкновенные, свинцовые и деревянные, бородки, фибровые и деревянные клинья и прокладки и т. п.

Во вторую группу входит инструмент, который обмотчик получает в кладовой мастерской в необходимых случаях; сюда относятся: пневматические молотки для забивки деревянных клиньев, специальные ножницы для резки металла, дрели и т. п.

Наконец на рабочем месте у обмотчика должен находиться вспомогательный материал, применяемый при работе, как то: клей, шпагат, изоляционная лента, парафин или специальное мыло для натирки катушек при вкладке и т. п.

Такова общая характеристика организации рабочего места обмотчика. В зависимости от того, как построен процесс, как использована рабочая сила на том или ином участке обмоточной мастерской, зависит и степень оснащенности рабочего места. На рабочем месте, выполняющем одну какую-либо операцию, номенклатура необходимых средств производства, естественно, сокращается. Более универсально использованное рабочее место обладает и соответственно более богатым и разнообразным набором инструмента, приспособлений и т. п.

В силу многообразия и обширности этого вопроса дать детальную характеристику по отдельным рабочим местам из-за недостатка места не представляется возможным.

Г. Оборудование обмоточных мастерских

Перейдем к рассмотрению специального оборудования обмоточных мастерских применительно, главным образом, к единичному производству.

Подавляющая часть операций при обмотке изделий выполняется вручную, поэтому входящее в эту группу оборудование немногочисленно и связано лишь с выполнением некоторых операций.

К оборудованию обмоточной мастерской следует отнести:

1) бандажировочный станок, с помощью которого осуществляется наложение проволочных бандажей; на этом же станке производится обрезка выступающих концов стержней и секций ротора или якоря после вкладки в пазы железа;

2) переносные станки с дисковой пилой, используемые для той же цели;

3) электрические печи, служащие для нагрева паяльников или же статорных катушек перед их укладкой в пазы;

4) пропиточные баки, пульверизационная аппаратура и сушильные устройства;

5) испытательные стенды с соответствующим оборудованием: трансформатором, преобразователем и измерительной аппаратурой.

Кроме указанного специального оборудования, обмоточная мастерская имеет еще и оборудование, связанное с обслуживанием общих нужд мастерской, а не какого-либо отдельного рабочего места. Например подставки или стеллажи для хранения прибывающих в мастерскую материалов обмотки и железа, а также готовых изделий; кладовые для хранения вспомогательных материалов и деталей, как то: прессшпана, олова, изоляционных лент, деревянных пазовых и рихтовочных клиньев и т. п.; наконец, противопожарные средства.

В обмоточной мастерской имеется группа оборудования, предназначенная обслуживать транспортные и подъемные операции при кантовке или пропитке изделий и переноске их с места на место. В зависимости от объема производства, веса и габарита обматываемых изделий обмоточные мастерские снабжаются различного рода кранами, вагонетками, прокладываются рельсовые пути.

Для перевозки продукции используются также электрокары или ручные тележки самых разнообразные конструкций, вплоть до специальных, приспособленных для перевозки одного какого-либо вида изделий.

Перечисленное выше оборудование и рабочие места в обмоточной мастерской размещаются по определенному плану с тем расчётом, чтобы избежать потерь, связанных с лишними транспортными операциями, и сократить количество этих операций. Поэтому рабочие места и соответствующее оборудование группируются и расстанавливаются в плане последовательного выполнения всего производственного процесса так, чтобы передача изделия с одной операции на другую или вовсе не была связана с транспортом или же путь был кратчайшим и не был связан с возвратным транспортом изделия на первоначальное место. Все вспомогательные устройства размещаются с учетом технологических условий так, чтобы всемерно облегчался к ним доступ и их использование.

Д. Административно-технический и вспомогательный персонал

Оперативное руководство рабочей силой в мастерской осуществляется административно-техническим персоналом, задачей которого является путем полного и эффективного использования всех наличных средств производства организовать исполнение получаемых от центральных учреждений завода (заводоуправления) производственных заданий — заказов.

Во главе аппарата мастерской стоит мастер, ответственный за выполнение этих заданий, в обязанность которого входит:

1) обеспечение качества выпускаемой продукции в заданном количестве в определенные сроки;

2) экономичное расходование, в пределах запланированных лимитов, материалов, энергии и денежных фондов, отпускаемых в его распоряжение для выполнения производственных заданий;

3) обеспечение хорошего состояния и бесперебойной работы находящегося в мастерской оборудования;

4) обеспечение безопасности труда (техника безопасности) и соблюдение противопожарных правил;

5) регулирование вопросов труда (подбор рабочей силы, повышение ее квалификации, организация заработной платы, вопросы санитарии и гигиены и пр.);

6) применение правильных технологических процессов и методов работы;

7) распределение работ и инструктаж рабочих в процессе работы;

8) обеспечение своевременного снабжения рабочих мест всем необходимым для работы.

Для проведения в жизнь перечисленных выше задач в распоряжении мастера имеется ряд технических работников — функциональных помощников, обслуживающих отдельные вопросы руководства мастерской, и вспомогательная рабочая сила. Сюда относятся:

1) планировщик мастерской, в задачу которого входит подготовка программных заказов, обеспечение и наблюдение за своевременным получением от цехов-поставщиков необходимых деталей, полуфабрикатов, материалов и инструмента с целью создания условий для бесперебойного хода выполнения работы в нужные сроки;

2) нормировщик-технолог, разрабатывающий при участии и под руководством мастера технологические планы работ, с учетом рационального использования рабочей силы, оборудования, инструмента и других средств производства, а также устанавливающий нормы выработки по каждому рабочему месту;

3) контролеры и браковщики, производящие качественную проверку изготовляемой продукции;

4) кладовщики и комплектаторы, выполняющие приемку, хранение и учет материалов, находящихся в распоряжении мастерской, а также подбор, подготовку и доставку к рабочему месту всего необходимого для работы;

5) крановщики, стропальщики и чернорабочие, выполняющие транспортные и другие подсобные операции по указанию;

6) уборщики.

2. СТАХАНОВСКИЕ МЕТОДЫ В ОБМОТОЧНЫХ РАБОТАХ

Формы стахановского движения в условиях массового и крупносерийного производств несколько отличны от тех, которые наблюдаются в мелкосерийном и единичном производствах. Если в первом случае инициатива стахановца направляется, в основном, по линии улучшения и рационализации применяемых рабочих приемов на той или иной операции, то стахановцы-обмотчики серийного производства, помимо совершенствования трудового процесса, развили энергичную борьбу по линии упорядочения общих организационно-технических условий, ибо преодоление этих неполадок сокращало непроизводительную трату рабочего времени, и тем самым расчищался путь к интенсивному росту производительности труда.

Разберем пример, иллюстрирующий те изменения, какие произошли в результате внедрения стахановских методов работы в обмоточном мелкосерийном производстве.

В табл. 22 в последовательном порядке указаны все операции, которые выполнялись обмотчиком в процессе обмотки якоря. В целях четкого выделения основных операций, непосредственно относящихся к процессу обмотки якоря, они выделены в табл. 22 в специальную графу. В таблице указаны также все дополнительные операции, сопровождавшие процесс обмотки, наличие которых зависело от чисто организационно-технических условий, в которых протекала обмотка якоря. Таким образом, помимо непосредственной работы по обмотке, рабочий был занят еще получением деталей, проверкой, различного рода подгонками и даже изготовлением их (резка пазовых прокладок

Таблица 22

Рабочий процесс обмотки якоря до стахановского движения

№ операций	Дополнительные операции	№ операций	Основные операции
	Наименование		Наименование
1	Получить задание, схему и чертежи		
2	Ознакомиться с чертежами и схемой		
3	Поставить якорь на стелюги		
4	Просмотреть пазы и удалить заусенцы		
5	Проверить коллектор на корпус и между пластинами		
6	Получить обмотку, хомутики, медные клинья и изоляционный материал		
7	Сделать пробную укладку секций		
8	Подогнать пазовые коробки и прокладки по месту, изготовить образцы		
9	Нарезать пазовые коробки и прокладки		
		10	Вложить коробки в пазы якоря
		11	Вложить нижний ряд секций в пазы
		12	Стянуть проволокой нижний ряд секций
13	Подогнать промежуточную изоляцию по месту		
		14	Установить промежуточную изоляцию на нижний ряд секций и замотать изоляционной лентой
		15	Удалить стягивающую проволоку
		16	Вложить верхний ряд секций в пазы
		17	Стянуть проволокой верхний ряд секций
		18	Загнуть края коробки
19	Подогнать по месту и заказать пазовые клинья		
20	Получить пазовые клинья		

№ операций	Дополнительные операции Наименование	№ операций	Основные операции Наименование
		21	Забить пазовые клинья
		22	Испытать якорь на корпус
23	Представить якорь мастеру для проверки выполненной части работы		
		24	Надеть хомутики на концы секций якоря
		25	Удалить стягивающую проволоку
26	Подогнать по месту и заказать рихтовочные клинья		
27	Получить рихтовочные клинья		
		28	Забить рихтовочные клинья между хомутиками и петушками
29	Сдать якорь для обрезки выступающих концов секций		
		30	Выбить клинья после обрезки
		31	Забить в петушки и хомутики медные клинья
		32	Обжать хомутики и петушки под пайку
32	Подогнать по месту, изготовить образец и нарезать дистанционные прокладки		
		34	Забить дистанционные прокладки между лобовыми частями секций якоря
35	Сдать обмотанный якорь мастеру		

и коробок). Эти операции, отнимая много времени, резко увеличивали общее количество времени, необходимого для обмотки якоря.

Отсюда понятно, что первый свой удар стахановцы направили именно на эту группу дополнительных операций, стремясь сократить их до технически неизбежного и необходимого минимума.

В табл. 23 приведен план операций, иллюстрирующий стахановские методы работы, при которых не только наблюдается резкое сокращение количества дополнительных операций, но и изменение их содержания.

Разобранные выше изменения в дополнительных операциях являются результатом следующих основных мероприятий:

1) систематическое хранение различного рода образцов и шаблонов, получаемых в процессе обмотки машин, и последующее исполь-

Таблица 23

Пример рабочего процесса обмотки якоря рабочим-стахановцем

№ операций	Дополнительные операции. Наименование	№ операций	Основные операции. Наименование
1	Принять задание, схему и чертежи		
2	Ознакомиться с чертежами и схемой		
3	Принять обмотку, хомутики, медные клинья, пазовые коробки, прокладки и клинья; дистанционные прокладки, промежуточные прокладки и рихтовочные клинья		
		4	Вложить коробки в пазы якоря
		5	Вложить нижний ряд секций в пазы
		6	Стянуть нижний ряд секций проволокой
		7	Установить промежуточную изоляцию
		8	Удалить стягивающую проволоку
		9	Вложить верхний ряд секций в пазы
		10	Стянуть проволокой верхний ряд секций
		11	Загнуть края коробок
		12	Забить пазовые клинья
		13	Подготовить якорь к испытанию на корпус
14	Представить якорь мастеру на проверку выполненной части работы и испытание		
		15	Надеть хомутики на концы обмотки якоря
		16	Удалить стягивающую проволоку
		17	Забить рихтовочные клинья между хомутиками и петушками
18	Сообщить мастеру о готовности якоря для обрезки		
		19	Забить дистанционные прокладки между лобовыми частями секций
		20	Забить медные клинья в хомутики и петушки
21	Сдать обмотанный якорь мастеру		
		22	Обжать хомутики и петушки под пайку плоскогубцами

зование их при повторном появлении аналогичных машин на производстве, благодаря чему устраняется повторная подгонка, а следовательно и излишний расход рабочего времени;

2) освобождение обмотчика от затраты времени на получение и доставку к рабочему месту деталей, материалов и пр.; обмотчик лишь принимает доставленный ему специальным рабочим материал;

3) выделение специальной резчицы изоляции, выполняющей заготовку по образцу, указанному обмотчиком или мастером;

4) выполнение решений производственных и специальных совещаний по вопросам ликвидации организационно-технических и конструктивных неполадок;

5) обмен опытом с заготовительными мастерскими в целях улучшения качества их продукции, применяемой при обмотке машин.

Перечисленные мероприятия в разобранном примере касаются изменения условий при стахановской работе. Изменение этих условий зависит как от обмотчика, так и от административно-технического коллектива, обслуживающего данное производство. Успех мероприятий, их широкий охват всех рабочих мастерской в огромной степени зависят от того, насколько руководящий технический персонал сумел возглавить стахановское движение.

Перейдем к рассмотрению другой группы элементов стахановской работы, введенных обмотчиками непосредственно в основные операции обмотки.

В качестве примера рассмотрим укладку роторной обмотки в пазы. Для выполнения этой работы обмотчик должен выполнить следующие операции:

1) вложить в паз коробку;
2) напарафинить стержень;
3) вставить стержень в паз.

Диференцируя эти операции на составляющие их приемы, получим следующий перечень этих приемов в последовательном порядке их выполнения при укладке одного роторного стержня:

1) взять с верстака коробку;
2) повернуться к ротору;
3) вставить коробку;
4) повернуться к верстаку;
5) взять стержень и парафин;
6) напарафинить стержень;
7) положить парафин на верстак;
8) повернуться к ротору;
9) вставить стержень в паз ротора;
10) повернуться к верстаку.

В этом же порядке указанные приемы необходимо повторять столько раз, сколько стержней имеет ротор.

Для того чтобы избежать лишних (следовательно непроизводительных) движений, стахановец весь процесс укладки обмоток выполняет пооперационно, т. е. сперва вставляет во все пазы ротора коробочки, затем натирает все стержни парафином и лишь после этого приступает к укладке их в ротор.

Таблица 24

Результаты наблюдения выполнения операций по обмотке статора в массовом производстве

№ операций	Наименование операций	Среднее количество приемов, падающее на 1 операцию			Общее время выполнения операции на 1 статор в минутах			Средняя продолжительность 1 приема в секундах		
		Малоквал. работница	Средняя работница	Стахановка	Малоквал. работница	Средняя работница	Стахановка	Малоквал. работница	Средняя работница	Стахановка
1	Развязать секцию	4	4	2	7,8	5,04	4,32	5,25	2,24	3,59
2	Вложить изолировочную коробку в паз	4	2	1	3,75	2,13	1,83	1,58	1,79	3,06
3	Вложить одну сторону секции в паз (нижний слой)	13	13	7	13,17	12,14	8,77	1,62	1,57	2,17
4	Вложить междуфазовую прокладку	11	10	6	5,01	2,77	2,01	0,74	0,45	0,6
5	Вложить вторую сторону секции в паз (верхний слой)	34	20	10	29,44	19,31	9,35	1,44	1,58	1,61
6	Проложить прокладку в лобовой части секции .	2	2	2	7,25	7,17	5,78	6,05	6,0	4,8
7	Околотить лобовую часть обмотки	16	13	7	10,18	3,5	2,78	1,21	0,61	0,77
8	Осадить на дно паза нижний слой обмотки . . .	27	20	19	7,4	3,82	3,15	0,81	0,53	0,64
9	Загнуть края коробки в паз и забить клин . .	56	38	24	31,52	18,38	13,07	0,94	0,79	0,93
10	Оправить обмотку	59	68	59	2,65	2,25	1,97	1,32	1,0	1,0
11	Обрезать края прокладок в лобовых частях обмотки	—	—	—	9,10	5,55	4,35	—	—	—

В этих условиях лишь один раз нужно будет взять и отложить парафин, и отпадут излишние повороты обмотчика к ротору и к верстаку и т. д.

Рассмотрим еще пример стахановского метода выполнения отдельной операции.

При забивке медных клиньев в хомутики и петушки якоря или ротора процесс раньше выполнялся в следующем порядке:

1) взять бородок и ручник;
2) раздать концы стержней в хомутике (петушке);
3) отложить бородок;
4) взять медный клин;

5) вставить клин между стержнями в хомутик;

6) загнать клин в хомутик ручником;

7) взять бородок, и вновь повторить все эти приемы на следующем хомутике и т. д.

Измененный процесс при группировке приемов выполняется рядом стахановцев в следующем порядке:

1) взять бородок и ручник;

2) раздать концы стержней в 1-м, 2-м, 3-м и т. д. хомутике, пока не будут раздвинуты все концы, затем обмотчик, отложив бородок, приступает к следующей операции — забивке медных клиньев, состоящей из следующих приемов:

а) взять горсть клиньев;

б) вставить клин в 1-й хомутик;

в) загнать клин ручником, и так далее, пока не будут заклинены все хомутики.

Вышеизложенное является примером того, как за счет простейшего изменения в порядке выполнения рабочего процесса стахановец резко сокращает количество вспомогательных приемов и, следовательно, уменьшает затрату вспомогательного времени. Вместе с тем, благодаря созданным условиям автоматичности в работе, значительно возрастает и общий темп работы, т. е. одновременно сокращается и основное время выполнения процесса. Так, например, по данным наблюдения, время на операции «парафинить стержень» сокращается на 50%.

Табл. 24 дополнительно вскрывает причины высокой производительности стахановцев. Составлена таблица на основании изучения слабой, средней и лучшей работы обмотчиков статоров в массовом производстве, т. е. в условиях, где эффективность трудового режима в значительной степени зависит от его автоматизации.

Из табл. 24 видно, что средняя продолжительность одного какого-либо приема почти во всех операциях у стахановки выше, чем у малоквалифицированной или средней обмотчицы. Общие затраты времени по операциям на обмотку статора у стахановки значительно меньше.

Суммарные показатели количества приемов и времени, израсходованного на обмотку одного статора, представлены в табл. 25.

Таблица 25

Суммарные показатели затрат на обмотку одного статора

№ по пор.	Затраты	Малоквал. работница	Средняя работница	Стахановка
1	Общее количество рабочих приемов, израсходованное на обмотку 1 статора	5648	4353	2474
2	Средняя продолжительность 1 приема по всем операциям, в сек	1,42	1,12	1,4
3	Общее время в минутах, затраченное на обмотку одного статора	137,0	83,0	58,0

Отметим, что строго ограниченное в пределах необходимости время для выполнения отдельных приемов и движений в работе сводится стахановцем к возможному минимуму. Спокойная, без спешки, работа обеспечивает качество выполнения обмотки и сохраняет физические силы работницы. Группировка одинаковых операций и приемов, как мы уже указали, приводит к автоматичности движений; так, например, нужный инструмент или материал в процессе выполнения той или иной операции выбирается безошибочно, — рука «вслепую» находит необходимый предмет на верстаке и, без всяких задержек на обдумывание или дополнительный осмотр работы, включает его в действие.

В результате создается непрерывная последовательность рабочих приемов, наполняющих буквально каждую секунду целесообразным, трудовым содержанием.

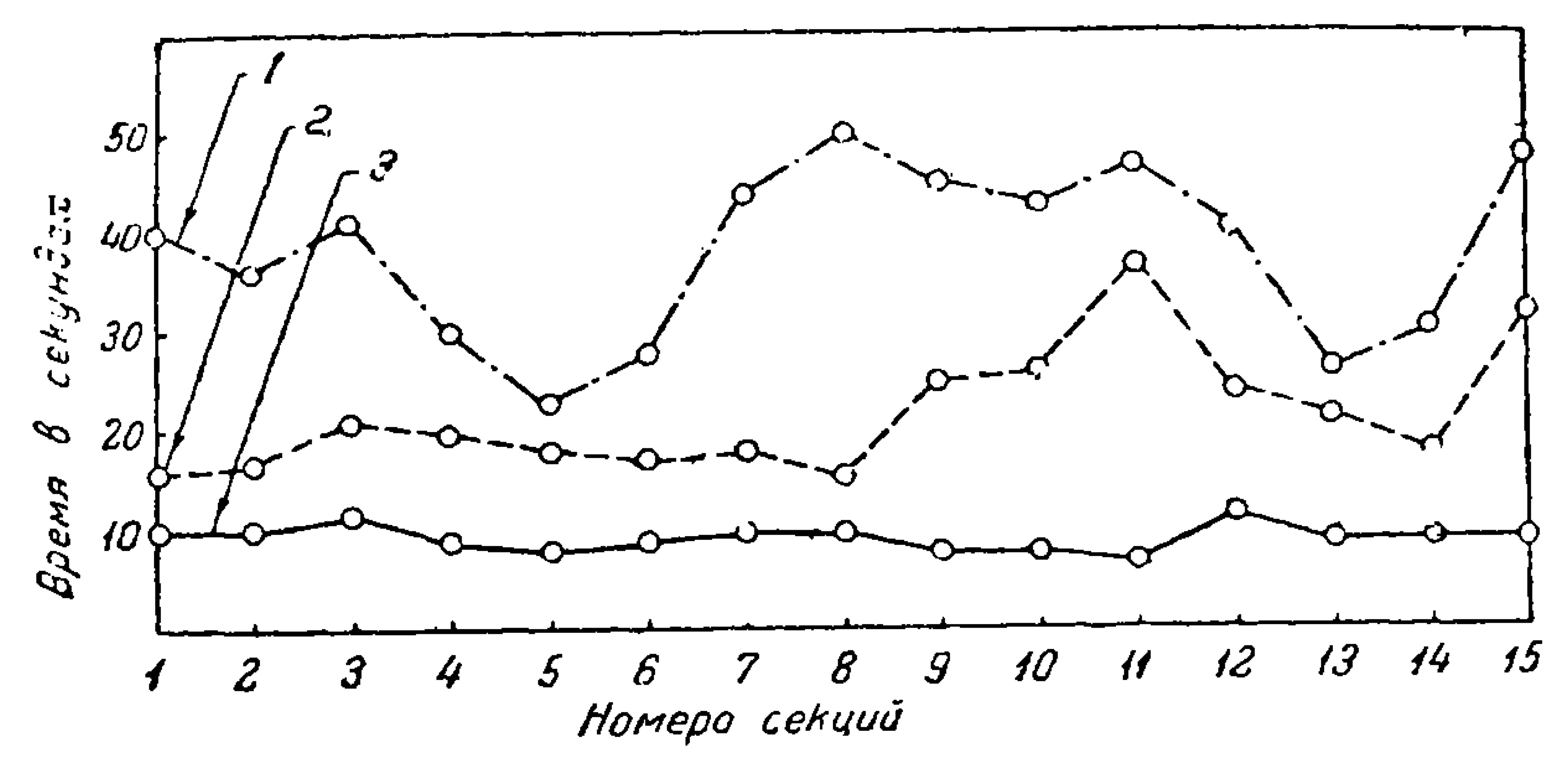


Рис. 418. Диаграмма затрат времени в секундах на укладку секции в пазы статора.

1 — малоквалифицированная работница; 2 — средняя работница; 3 — стахановка.

На рис. 418 показана диаграмма, характеризующая протекание во времени процесса выполнения операций укладки витков в пазы статора разными работницами.

Кривая, построенная на основании показателей работы стахановки, представляет собой почти прямую линию, свидетельствующую о спокойном и ровном ходе выполнения операций; в то же время у других работниц, на аналогичных операциях, кривая представляет собой ломаную линию с резкими подъемами и падениями, вследствие наличия больших скрытых потерь времени, вызванных нерациональным выполнением приемов работы.

Таковы основные методы, при помощи которых стахановцы-обмотчики борются за рост производительности труда. Знание элементов процесса, вдумчивое и критическое отношение к окружающим работу условиям и собственному трудовому поведению обеспечивают неизменный успех стахановским мероприятиям.

НОРМИРОВАНИЕ ОБМОТОЧНЫХ РАБОТ

1. СЕБЕСТОИМОСТЬ И ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ ТРУДА

Себестоимость продукции складывается из суммы прямых и косвенных расходов, которые несет предприятие, затрачивая средства в процессе изготовления этой продукции.

К прямым расходам относятся затраты на материалы и оплата труда, непосредственно идущие на изготовление какого-либо определенного изделия.

К косвенным, или так называемым накладным расходам, относятся общие производственные и организационные издержки по цеху и всему предприятию. Сюда относятся: расходы на вспомогательные материалы, топливо, энергию, оборудование, приспособления, инструмент, оплату служащих и вспомогательных рабочих, социальные начисления на зарплату и т. п.

Разберем смету производства (см. табл. 26) одного из заводов, изготовляющего электрические машины. В эту смету включены прямые и косвенные расходы по годам.

Таблица 26

Смета производства

№ по пор.	Элементы затрат	В процентах к общей сумме		
		1933 г.	1934 г.	1935 г.
1	Всего материальных затрат (стоимость сырья, основных и вспомогательных материалов, топливо, электроэнергия)	47,8	52,2	56,6
2	Основная и дополнительная зарплата и начисления на зарплату	42,7	40,3	36,4
3	Амортизация	3,3	2,7	2,5
4	Прочие заводские расходы	6,2	4,8	4,5
5	Всего заводских затрат	100	100	100

Из таблицы видно, что основными статьями расхода являются материалы и заработная плата. Однако фактическая доля заработной платы выше, так как часть ее скрыта в стоимости материалов. Приобретая последние у заводов-поставщиков, предприятие тем самым оплачивает и расходы по зарплате, связанные с производством этого материала.

Следовательно основным, решающим фактором себестоимости является заработная плата.

Из табл. 29 мы видим, как доля заработной платы в себестоимости неуклонно из года в год падает, а доля расходов на материалы растет; это свидетельствует о том, что завод улучшает свою работу, более полно овладевая средствами производства. Завод непрерывно повы-

шает производительность труда, затрачивая на обработку продукции меньшее количество времени.

Так как измерителем количества труда является рабочее время, то успех целого ряда мероприятий по повышению производительности труда связан с четким знанием, как и на что расходуется рабочее время. Изучение рабочего времени является задачей всего коллектива работников завода и в частности — специальной обязанностью заводских органов нормирования, организации труда и разработки технологических процессов.

2. СОСТАВ РАБОЧЕГО ВРЕМЕНИ

Рабочее время состоит из следующих составных частей.

А. Подготовительное (партионное) время, расходуемое на приведение рабочего места, средств производства в готовое для выполнения данного производственного задания положение.

Б. Время производительной (полезной) работы, расходуемое непосредственно на процесс изготовления или органически связанное с изготовлением и от него зависящее.

В. Непроизводительное время, или время потерь, т. е. дополнительный расход рабочего времени, вызванный организационными и техническими неполадками, сопровождающими основной процесс изготовления. Сюда входят: затраты на переделки, исправление брака; применение неправильных или неумелых приемов в работе; дополнительная обработка вследствие дефектов в материале, деталях или конструкциях; простои вследствие ожидания из-за несвоевременной подачи к рабочему месту полуфабрикатов, инструмента, материалов, деталей и т. п., а также поиски их; наконец потери, вызванные слабостью трудовой дисциплины, как, например, частный разговор, выполнение общественных обязанностей, несвоевременное начало и окончание работ и т. п. Общую сводку всех частей рабочего времени см. в приложении V в конце книги.

А. Подготовительное, или партионное, время

К подготовительному времени относятся: ознакомление с чертежом, работой, получение соответствующих указаний от мастера, наладка к работе механизмов, инструмента, приспособлений и т. п. В зависимости от условий производства (поточное, массовое, серийное или индивидуальное) изменяется и величина фактических затрат на подготовку, так как эти условия предопределяют организацию и степень обслуживания рабочего места. В поточном или массовом производстве рабочий, получая полностью подготовленную работу, занят исключительно выполнением порученной ему операции и не несет затрат на подготовку. Чем резче характер производства отличается от поточного, приближаясь к индивидуальному производству, тем в большем объеме функции подготовки передаются непосредственному исполнителю — рабочему, вплоть до такого положения, когда рабочему вручается лишь задание, и он сам является организатором выполнения этого задания, начиная с установления порядка

и способов обработки (технологического процесса). В последнем случае роль руководящего технического персонала сводится к пассивной позиции общего наблюдения, контроля и экспертизы, в необходимых случаях; на обслуживаемом участке. В результате создаются большие потери рабочего времени, возникают многочисленные очаги этих потерь, ибо разрозненные действия отдельных рабочих не могут быть так же успешны, как организованная работа по определенной системе специально для этого поставленных лиц.

Особенность обмоточных и заготовительно-намоточных работ заключается в чрезвычайном разнообразии ассортимента различных шаблонов, оправок, образцов, устанавливаемых во многих случаях по месту в процессе изготовления. Хранение и систематизация этих вспомогательных средств приобретают особое значение. Отсутствие же порядка в этой важной функции обслуживания производства вызывает громадные потери за счет ненормального увеличения подготовительного, или партионного, времени. Поэтому подготовка к работе должна быть организована так, чтобы работа обмотчика была обеспечена полным комплектом полноценных, не требующих дополнительных подгонок деталей и материалов, своевременно доставляемых к рабочему месту.

Нормально подготовительное время для обмоточных работ может состоять из затрат на получение заданий и инструкций, ознакомление с чертежом, электрическими данными и работой, приведение в необходимое и удобное для работы положение материалов, полуфабрикатов, деталей и т. п. и сдача готовой продукции, причем последнее в ряде случаев может происходить без непосредственного участия исполнителя.

Б. Производительное, или полезное, время

Производительное рабочее время подразделяется на следующие группы:

1. Основное время, т. е. та часть времени изготовления, которая тратится на непосредственное изменение формы, положения или состояния изготовляемого продукта, если это изменение является конечной целью рабочей операции.

2. Вспомогательное время, т. е. та часть времени, которая расходуется на выполнение приемов, непосредственно не осуществляющих изменения изготовляемого продукта, но неизбежных и необходимых при выполнении этих изменений.

Например, в операции пайки оловом соединения в машине время на подноску паяльника к месту соединения является вспомогательным; оно не вызывает каких-либо изменений в состоянии места соединения; время же процесса прогрева и пайки оловом проводников является основным, ибо в этот момент мы осуществляем основную цель нашей операции — получение на соединении прочного электрического и механического контакта.

В зависимости от участия механизмов в процессе работы основное время может быть следующих видов:

а) ручное время;

б) машинно-ручное время;

в) машинное время.

Понятие о ручном времени явствует из его определения.

Машинно-ручное время имеем в тех случаях, когда работа выполняется механизмом при непосредственной помощи человека, осуществляющего подачу на механизм во время его работы материала или детали или направляющего вручную обрабатывающий инструмент.

Например, при намотке катушек на станках без автоматической подачи наматываемый во время вращения планшайбы станка провод на оправку подается и оправляется намотчиком; при станочной изолировке роторных стержней или якорных и статорных секций намотка изоляционной ленты выполняется механизмом, с одновременным перемещением изолировщицей изолируемой детали вручную по заданному шагу изолировки.

Машинное время мы имеем в тех случаях, когда основной процесс выполняется непосредственно механизмом или агрегатом без участия человека, выполняющего лишь вспомогательные приемы пуска, остановки механизма, установки и снятия изделия со станка и т. п., например намотка катушек на станке при наличии автоматической подачи наматываемого провода на оправку, операции прессовки изолированных обмоток под давлением и при нагреве на специальных прессах.

В этих условиях рабочий во время работы механизма либо занимает позицию активного наблюдателя, контролирующего и регулирующего ход процесса, либо же пассивно ожидает окончания работы механизма.

Отсюда, при наличии элементов машинной работы в процессе изготовления, в отношении рабочего мы имеем:

а) время, затрачиваемое исполнителем на активное наблюдение во время работы механизма;

б) время, затрачиваемое исполнителем на пассивное наблюдение во время работы механизма.

В целях лучшего использования машинного или машинно-ручного времени производят увеличение числа оборотов на намоточных и изолировочных станках, повышение режимов нагрева или охлаждения на операциях прессовки и выпечки катушек. Кроме того, при наличии пассивного времени у исполнителя во время работы механизма производят дополнительную загрузку рабочего, используя последнего или на выполнение вспомогательных приемов, связанных непосредственно с выполняемой работой, как, например, подготовка бухты меди к работе, заготовка вспомогательных мелких полуфабрикатов (прокладки и пр.), или же на какой-либо другой операции. Например, во время нагрева катушки полюса синхронной машины в процессе выпечки под давлением на прессу рабочий-прессовщик производит очистку от наплывов шеллачного лака запрессованных катушек.

Характерным для изложенных примеров является отсутствие каких-либо изменений в применяемых при работе средствах производства. Уменьшение затрат полезного времени есть результат лишь умелого и технически правильного его использования. К этой же группе мероприятий по повышению производительности полезного времени, не требующих изменений материальной части процесса, а лишь чисто организационных мер, могут быть отнесены следующие:

1. Диференциация труда, т. е. разбивка какого-либо рабочего процесса на отдельные операции по отдельным рабочим местам. Например, выполнение соединения статоров пооперационно (пайка, изолировка, крепление соединений) с прикреплением, соответственно, рабочих, а не выдача в работу всего соединения одному рабочему или небольшой группе, каждый из членов которой участвует в выполнении всех операций; специализация изолировщиц обмоток на определенном виде изоляционного материала (микалента, хлопчатобумажная лента и пр.) или на изолировке определенных участков обмотки: на изолировке только пазовой или только лобовой части секций и т. п.

Эти мероприятия создают на рабочем месте условия, при которых исполнитель оперирует ограниченным ассортиментом материала, полуфабрикатов и инструмента, вследствие чего быстро приобретает навык и дает высокую производительность.

2. Выделение простых операций из сложных рабочих процессов и передача их выполнения малоквалифицированным рабочим, в целях лучшего использования времени квалифицированного рабочего; например, выделение операции привязывания шнуром дистанционных распорок на секции при обмотке статоров, установка изолирующих прокладок между хомутиками якорей и т. п.

Отметим еще раз, что приведенные выше мероприятия по повышению производительности полезного времени имели место исключительно за счет реализации внутренних ресурсов и не требовали каких-либо изменений в средствах производства или в технологии процессов. Изменялись лишь способы их использования за счет применения более правильных и рациональных приемов в работе, за счет лучшей расстановки рабочей силы или же за счет общего уплотнения рабочего времени.

Другая группа мероприятий по повышению эффективности полезного времени исполнителя или механизма связана с изменениями отдельных частей или всего технологического процесса.

Например:

1. Разработка новых конструкций обмоток, вызывающих, при известных условиях, полное изменение технологического процесса; например, введение двухслойных секций ликвидировало обмотку статоров протяжкой. В результате трудоемкий и требовавший больших затрат физических сил процесс заменяется значительно более простым и легким, резко снижающим время обмотки статора.

2. Механизация ручных работ, как, например, замена ручной изолировки изолировкой на специальных станках; замена ручной опиловки утолщений на витках катушек синхронных машин после намотки — давлением на прессу; выполнение забивки клиньев в пазы якоря пневматическим молотом вместо забивки при помощи ручника и т. д.

3. Изменение одних способов выполнения работ другими, более совершенными; например, простое мероприятие по замене промазки кистью вручную витков катушек синхронных машин купанием в ванне сразу же дает громадную экономию в рабочем времени и в материале, резко сокращая потери последнего.

4. Рационализация приспособлений, улучшающих условия исполь-

зования и рабочего и механизма; например, введение многоячейковых шаблонов для непрерывной намотки секций статорной обмотки сериями пофазно позволяет не только сократить количество вспомогательных приемов за счет уменьшения числа установок и снятия шаблона со станка, но и полностью ликвидировать последующую операцию пофазного соединения секции после укладки в пазы статора.

Преобладание ручных работ свидетельствует об отсталости организации труда на обмоточных и заготовительно-обмоточных работах по сравнению с другими производствами. Следствием этой отсталости являются значительные потери производительности, имеющие место и по вине рабочего, не овладевшего еще в полной мере процессом, и по организационно-техническим причинам, в силу слабого применения механизации и более совершенных технологических методов обработки и организации труда.

В. Непроизводительное время

При разборе элементов полезного производительного времени мы видели, что благодаря применению лучших методов работы и более совершенных форм организации труда выявляются дополнительные ресурсы производительности.

Перейдем теперь к рассмотрению следующей части рабочего времени, а именно тех непроизводительных дополнительных затрат, которые обычно легко обнаруживаются наблюдателем на производстве. Краткий перечень их был изложен раньше. Уже из этого перечня усматриваются два основных источника, по вине которых возникают эти потери.

Первый источник — недостатки организационно-технические, вызывающие ряд неполадок и неувязок в деле обслуживания и руководства рабочими процессами.

Второй источник — непосредственный исполнитель — рабочий, в малом масштабе повторяющий те же ошибки организационно-технического порядка на своем рабочем месте, о которых мы только что говорили.

I. По организационно-техническим причинам мы имеем следующие непроизводительные затраты рабочего времени:

1. Затрата рабочего времени на дополнительную работу вследствие переделок из-за ошибок в конструкциях, восстановления прямого брака из-за дефектов поступивших в работу деталей, полуфабрикатов и материалов, излишней обработки вследствие повторных переделок, исправлений или применения нестандартного материала.

Особо важное значение имеют различного рода переделки и исправления витковых, фазных, корпусных пробоев обмотки, обнаруженных при испытании обмотанных машин.

Эти дополнительные работы по объему своему нередко превышают объем нормальной работы и все же не обеспечивают полного устранения брака, так как неоднократно потревоженная обмотка не может считаться полноценной и, следовательно, надежно обеспечить качество выпущенной машины. Поэтому налаженный предварительный контроль поступающей обмотки и строгая отбраковка ее являются

одним из важнейших условий организации труда в обмоточном производстве.

2. Непроизводительные затраты рабочего времени вследствие перерывов по причине ожидания подачи материалов, полуфабрикатов, деталей, отсутствия нужного инструмента, чертежа и пр., а также своевременного инструктажа. Эти явления имеют особенно крупное значение в обмоточных мастерских в серийном и индивидуальном производствах, где на рабочее место поступает значительная номенклатура и в большом количестве различного рода детали и полуфабрикаты (секции, хомутики, клинья и прокладки разных видов). Нередко из-за отсутствия небольшого количества «мелочи» приостанавливается работа. Поэтому предварительная комплектовка и организованное снабжение с помощью рационально налаженного хозяйства кладовой при этого рода мастерских играют чрезвычайно крупную роль в деле обеспечения роста производительности труда.

3. Аналогичными по характеру и по происхождению потерями являются затраты рабочего времени исполнителя на поиски и хождение вследствие неорганизованного или несвоевременного снабжения рабочего всем необходимым в работе.

4. Дополнительные затраты рабочего времени, связанные с обслуживанием рабочего места, как, например, уход за станком и смазка его в течение рабочего дня, приготовление к работе инструмента, механизма и пр. в начале рабочего дня и уборка в конце рабочего дня и т. п.

II. Непроизводительные потери рабочего времени, имеющие место по вине исполнителя, следующие.

1. Потери рабочего времени из-за отсутствия порядка в хозяйстве рабочего места.

2. Потери, возникающие вследствие неудовлетворительного состояния рабочего инструмента, вызывающего частые его поломки и замедление обработки.

3. Потери личного порядка, а именно:

а) несвоевременное начало и окончание работы и частные разговоры;

б) мытье рук и надевание спецодежды в рабочее время, расчеты и оформление заработной платы, выполнение общественных обязанностей во время работы и пр.;

в) удовлетворение физиологических потребностей и отдых.

3. НОРМА

Под нормой мы разумеем то заданное время, которое установлено для изготовления какого-либо изделия. Однако из предыдущего рассмотрения состава рабочего времени видно, что процесс выполнения не всегда ограничивается только затратами производительного полезного времени, и работа нередко сопровождается дополнительным расходом непроизводительного времени. Какие же части рабочего времени должны мы включать при установлении нормы?

Норма должна учитывать лишь необходимое и достаточное время для выполнения рабочего процесса или некоторой его части в условиях,

обеспечивающих полное и рациональное использование всех технико-производственных и организационных ресурсов.

Этому условию удовлетворяют лишь следующие части рабочего времени:

1) подготовительное, или партионное, время;

2) основное и вспомогательное время;

3) время, связанное с обслуживанием рабочего места;

4) время, потребное для удовлетворения физиологических потребностей.

Включение же в норму каких-либо других частей рабочего времени, как это нередко имеет место на практике, создает условия, при которых норма теряет свое значение как одно из средств повышения производительности труда.

Основное и вспомогательное время выражается суммарно одной величиной, определяющей количество необходимого времени для изготовления единицы продукции. Поэтому она носит название «нормы штучного времени».

Подготовительное, или партионное, время при установлении нормы выделяется отдельно. Необходимо это потому, что затраты на партионное время не зависят от количества изготовляемых изделий. Например, затраты времени на ознакомление с чертежом у рабочего будут одни и те же, изготовляет ли он одно изделие или 100 штук.

Поэтому, включив подготовительное время в штучное время, мы исказим величину последнего.

Затраты времени, связанные с обслуживанием рабочего места и с удовлетворением естественных потребностей, учитываются в норме путем прибавки к предварительно установленному штучному и партионному времени и носят название «прибавочного времени нормы».

Эти затраты, регулярно повторяясь, занимают в среднем какую-то часть рабочего дня, величина которой может быть выражена в процентах по отношению к остальной части рабочего дня. Поэтому прибавочное время начисляется на предварительно подсчитанные нормы штучного и партионного времени в определенном, установленном проценте. Например, при 7-часовом рабочем дне рабочий в среднем затрачивает 20 минут на уход за механизмом, уборку верстака от скопившихся отходов материала при работе, на удовлетворение естественных потребностей и т. п.

Таким образом за вычетом 20 минут на долю штучного и партионного времени остается 400 минут. Отсюда прибавочное время составляет 5% согласно следующему подсчету:

$$\frac{20}{400}\cdot 100 = 5\%.$$

Следовательно, если штучное время на единицу продукции без учета прибавочного времени нами определено в размере 20 минут, то с учетом 5% прибавочного времени окончательная величина нормы составит 21 минуту.

На основании вышеизложенного в целях нормирования какой-либо работы достаточно установить две самостоятельные величины:

1) норму партионного времени;

2) норму штучного времени.

Различают двоякого рода нормы: норму времени и норму выработки.

Норма времени указывает количество времени, в течение которого необходимо выполнить единицу продукции, а норма выработки — количество продукции, изготовляемой в единицу времени.

Между нормой во времени и нормой выработки имеется зависимость, т. е. зная норму во времени, мы можем вывести норму выработки, и наоборот.

Зависимость эта обратнопропорциональная, так как если мы уменьшим норму во времени, то норма выработки увеличится, и наоборот. Обозначим условно норму во времени буквой $H_в$, норму выработки буквой $H_ш$. Тогда эта зависимость может быть выражена в виде формул в следующем виде:

$$H_в = \frac{1}{H_ш}; \qquad H_ш = \frac{1}{H_в}.$$

Пользуясь этими формулами, можно, зная норму во времени на одно изделие, определить соответствующую норму выработки. Например: норма во времени на привязывание дистанционных прокладок установлена на 1 статорную секцию в 5 минут. Для того чтобы определить норму выработки за рабочий день (420 минут), произведем подсчет, воспользовавшись формулой

$$H_ш = \frac{420}{5} = 84 \text{ шт.}$$

Аналогичным способом решается обратная задача, т. е. по норме выработки определяется соответствующая ей норма во времени. Посмотрим, как увеличится норма выработки, если норму во времени снизим на 20%, т. е. вместо 5 минут за секцию установим 4 минуты. Подсчитаем:

$$H_ш = \frac{420}{4} = 105 \text{ шт.}$$

Мы видим, что норма выработки увеличилась с 84 до 105 штук, т. е. на 21 секцию. На какой процент увеличилась норма выработки? Произведем подсчет:

$$\frac{21}{84} \cdot 100 = 25\%.$$

Следовательно норма выработки повысилась больше, чем мы снизили норму во времени. Очевидно, что эти проценты никогда не бывают равными. Кроме понятий «норма выработки» и «норма времени», постоянно применяется еще понятие «фактическая выработка». Это понятие выражает отношение между фактической производительностью и заданной по норме в единицу времени и может быть также выражено в процентах. Если заданную норму мы примем за 100%, то фактическая выработка, выражаемая в большей величине (т. е. больше чем 100%), определяет нам переработку нормы, если же она меньше 100%, то — недоработку нормы.

Поясним примером.

При норме 200 катушек в день рабочий намотал в 1-й день 190 катушек, во 2-й день 200 катушек, в 3-й день 220 катушек. На основании этих данных получается следующее движение фактической производительности рабочего.

За 1-й день имелась недоработка в 5%, так как выработка рабочего составила:

$$\frac{190}{200}\cdot 100 = 95\%, \text{ т. е. меньше } 100\%.$$

За 2-й день норма была выработана, так как выработка составила:

$$\frac{200}{200}\cdot 100 = 100\%.$$

За 3-й день имелась переработка норм на 10%, так как выработка составила:

$$\frac{220}{200}\cdot 100 = 110\%, \text{ т. е. больше чем } 100\%.$$

4. МЕТОДЫ НОРМИРОВАНИЯ

При установлении норм пользуются разными методами, однако все они могут быть сведены к двум основным группам.

1. Методы нормирования по элементам, предусматривающие разбивку нормируемой работы на составляющие элементы процесса изготовления, с установлением необходимой и достаточной продолжительности по каждому из элементов в отдельности.

2. Методы суммарного нормирования, при котором анализа процесса по элементам не производят, а устанавливают величину нормы во времени сразу суммарно.

Оценка во времени независимо от применяемого метода нормирования (суммарного или поэлементного) осуществляется либо на основании объективных данных, т. е. с помощью вспомогательного материала, составленного на основании предварительно проделанного изучения нормируемой работы, либо же на основании субъективной оценки по опыту лица, производящего нормирование.

Ясно, что качество норм целиком зависит от применяемого метода нормирования.

Это качество необходимо обеспечить как со стороны содержания, так и со стороны правильной оценки во времени.

Качество содержания определяет рациональность выбранных элементов процесса, обеспечивающих правильное использование механизмов, инструмента, деталей, рабочего и т. п.

Такая проработка норм, в особенности разработанных на основании образцов работы стахановцев, превращает ее в важнейший организационный фактор, так как позволяет наладить инструктаж, установить правильный режим на рабочем месте. Очевидно, что суммарный метод нормирования без анализа процесса этого положения ни в коей мере обеспечить не может.

Расчет времени нормы должен базироваться на объективном, составленном на основании изучения и исследования материале, добытом путем непосредственных наблюдений процессов, специальных экспериментов или теоретического расчета.

5. ИЗУЧЕНИЕ РАБОЧЕГО ВРЕМЕНИ НАБЛЮДЕНИЕМ

Преобладание ручного труда в области обмоточных, намоточных и изоляционных работ чрезвычайно затрудняет внедрение объективно-обоснованных методов их нормирования. Теоретический расчет норм, применяемый, когда процесс выполняется механизмом, в условиях ручного труда, конечно, не может быть использован. Поэтому основным методом создания необходимого для нормирования материала являются анализ и систематизация данных, собранных путем непосредственного наблюдения процессов на производстве.

В технической литературе пока что по вопросам нормирования обмоточных и намоточно-изоляционных работ не имеется никаких указаний, поэтому до сего времени каждое предприятие самостоятельно ставит необходимое изучение и создает материалы для нормирования, почти не пользуясь посторонними источниками.

В настоящее время применяются два основных метода изучения рабочего времени наблюдением:

1) метод фотографии рабочего времени (рабочего процесса или рабочего дня) и

2) хронометраж.

Каждый из этих методов разрешает свои специальные задачи, и следовательно, имеет свои особенности.

А. Фотография рабочего времени

Метод фотографии рабочего времени служит целям изучения структуры рабочего дня или процесса, выявления общих организационных условий, в которых протекает работа исполнителя или механизма.

В результате фотографии получаются показатели, характеризующие величину отдельных затрат рабочего времени, и выявляются причины, их вызвавшие. Этот материал дает возможность правильно взвесить значение отдельных затрат в общем балансе рабочего времени, выработать необходимые мероприятия по устранению непроизводительных затрат, вскрыть подлежащие реализации внутренние ресурсы производительности труда. Кроме того, фотография необходима для целей нормирования, так как с ее помощью получаем элементы партионного прибавочного времени, о которых речь шла выше.

Техника выполнения фотографии несложна. Наблюдатель записывает в последовательном порядке все действия или перерывы в работе исполнителя или механизма, регистрируя на специальном наблюдательном листе содержание этих действий или причины перерывов, одновременно отмечая по часам или секундомеру моменты их начала и окончания.

В результате получается запись всех имевших место производительных и непроизводительных затрат рабочего времени и их величин во времени.

Далее, производится группировка этих затрат по признаку однородности причин, их вызвавших, и подсчет общего израсходованного времени по отдельным причинам. Результаты группировки и подсчетов расхода времени заносятся в специальную для этого карту баланса.

Составление карты баланса, однако, не завершает работы фотографирования рабочего процесса.

Карта баланса дает лишь оценку в качественном и количественном отношениях тех организационно-технических условий, в которых протекает работа исполнителя или механизма.

Основная задача заключается в выработке мероприятий по улучшению этих условий.

Выполняя систематически наблюдения над тем, как работает рабочий или механизм, на что расходуется рабочее время, необходимо вскрыть причины, вызывающие непроизводительные потери времени у рабочего или механизма, разработать мероприятия по ликвидации этих причин и озаботиться проведением их в жизнь.

Б. Хронометраж

Метод фотографии применяется, как мы познакомились из предыдущих пояснений, в целях изучения всей суммы затрат, которые имеют место в пределах рабочего дня или процесса. Вопросы же, как совершается трудовой процесс, какие рабочие приемы или движения применяются во время изготовления продукта, методом фотографии осветить не представляется возможным.

Такого рода задачи разрешаются с помощью хронометража, т. е. специального метода изучения рабочего времени наблюдением в целях изучения всех составных трудовых элементов операции и способов их выполнения.

Далее, в то время как с помощью фотографии получаем материал лишь по нормированию элементов партионного и прибавочного времени, хронометраж является основным методом исследования, с помощью которого составляется почти весь материал по нормированию штучного времени изготовления.

Поэтому условия и техника проведения хронометража значительно отличаются от фотографии.

Объектом изучения методом хронометража следует брать не всякую работу, а лишь работу налаженную, в которой полностью используются все участвующие средства производства. Этим условиям отвечают стахановские методы работы, поэтому объектом хронометража необходимо брать образцы работы стахановцев.

Изучив работу и правильно выбрав объект наблюдения, исследователь, приступая к хронометражу, заносит результаты наблюдений в специальный хронометражный лист.

Из хронометражного листа по каждому элементу получается ряд величин, характеризующих их продолжительность. Этот ряд носит название хронометражного ряда, и на основании его выводится хронометражная норма по каждому элементу.

Существует много способов обработки хронометражного ряда в целях вывода норм. Здесь мы поясним лишь основные, практически применяемые, а именно:

1) способ моды;
2) способ средней арифметической;
3) способ улучшенной средней.

Применение каждого из этих способов должно сопровождаться предварительным корректированием хронометражного ряда, путем вычеркивания отдельных дефектных величин его, которые, естественно, не должны быть приняты во внимание при установлении хронометражной нормы. Дефектные величины могут оказаться в результате ошибок наблюдателя, сделавшего неправильную запись, или по случайным причинам, повлиявшим па работу исполнителя, как, например, отвлечение разговором во время выполнения какого-либо элемента, неправильно взят в руку инструмент, что вызвало лишние движения, и т. п. Количество вычеркнутых величин в ряду не должно превышать 20—25% общего их количества, — в ином случае следует признать весь хронометраж дефектным и подлежащим повторному наблюдению.

Перейдем к рассмотрению способов установления хронометражных норм на основании хроно-ряда после его корректирования.

1. Способ - моды — способ, при котором за норму принимается такая величина продолжительности, которая повторяется в данном ряду наибольшее количество раз.

Полагаем, что эта величина соответствует наиболее привычному, установившемуся темпу работы.

Рассмотрим пример.

Пусть согласно хронометражному листу для элемента «взять кусок эксцельсиора и отрезать конец» имеем следующий ряд продолжительностей в секундах: 6—6—10—10—11—6—6—6—12; из него мы видим, что продолжительность

в 6	секунд	повторяется	5	раз
„ 10	„	„	2	раза
„ 11	„	„	1	рав
„ 12	„	„	1	„

Наибольшее количество раз повторяется величина в 6 секунд, которую мы и примем за норму.

2. Метод средней арифметической заключается в следующем: суммируют все величины данного ряда и делят полученную сумму на число слагаемых; полученное частное принимается за норму. Пусть, например, для элемента «сделать 11 оборотов эксцельсиора по головке стержня» имеем следующий ряд в секундах: 26—31—29—27—28—28—24—27—27—26, всего 10 цифр в ряду. Сложив эти величины и разделив полученную сумму на их количество, находим норму, т. е.

$$273 : 10 = 27,3 \text{ сек.}$$

3. При обработке хронометражных рядов, полученных в результате наблюдения недостаточно освоенных производством работ, рассчитанные по методу средних арифметических нормы времени несколько снижают, принимая за норму половину суммы средней арифметической и минимальной величины ряда. Такую норму называют улучшенной средней арифметической.

На основании хронометражного ряда предыдущего примера, где средняя арифметическая равна 27,3 сек., а минимальная — 24 сек., улучшенная средняя будет:

$$\frac{27,3 + 24}{2} = 25,65 \text{ сек., с округл. } 25,7 \text{ сек.}$$

На основании разработанных хронометражных норм затем устанавливается штучная норма времени, фиксируемая на специальной нормировочной карте.

6. СОСТАВЛЕНИЕ НОРМАТИВОВ

Норма, установленная на основании отдельного хронометража, учитывает необходимое и достаточное время в определенных условиях, в которых протекала работа при наблюдении. Следовательно такая норма действительна лишь для таких же работ или деталей, выполнение которых будет осуществляться при аналогичных условиях. Например, если норма установлена на основании хронометража укладки жесткой обмотки в статор при 108 пазах, ширине железа 350 *мм* и весе секции 2 *кг*, очевидно, что она не будет соответствовать времени укладки статора с числом пазов 90, шириной железа 500 *мм* и весе секции 5 *кг*. Для того чтобы установить норму, соответствующую новым условиям, необходимо проделать специальный хронометраж в изменившихся условиях работы. В практике обмоточных и заготовительно-изолировочных работ эти условия крайне многочисленны в пределах исполнения отдельных деталей или операций, в связи с разнообразием электрических, конструктивных данных изготовляемых машин, как, например, мощность, сила тока, напряжение, число оборотов, габариты железа и т. п.

Совершенно очевидно, что устанавливать норму для каждого варианта конструктивных и электрических условий на основании специальных хронометражных обследований практически не рационально, тем более, что затрата на хронометражное обследование и его анализ, в целях установления нормы для какой-либо операции и детали, нередко во много раз превышают фактические затраты времени на производственное выполнение этих деталей. Последнее положение особенно резко сказывается в серийном и индивидуальном производствах, где применение метода непосредственного хронометража для каждой нормы лишает нормирование всякого практического значения.

Следовательно необходим такой способ нормирования, при помощи которого можно было бы на основании чертежей и электрических данных спроектировать вполне доброкачественную норму, не прибегая каждый раз к хронометражу.

Разберем этот способ на примере.

Хронометражная норма на заклинку одного паза якоря буковым клином:

при длине паза в 400 *мм* составляет 1,8 мин.
" " " " 300 " " 1,5 "

Из сопоставления цифр видно, что при изменении длины паза на 100 *мм* время увеличилось на 0,3 минуты.

Следовательно на каждый миллиметр длины паза время увеличивается в среднем на

$$0{,}3 : 100 = 0{,}003 \text{ мин.};$$

отсюда, если паз будет длиной в 350 *мм*, то можно предположить, что время заклинки по сравнению с пазом в 300 *мм* увеличится на

0,003 · 50 = 0,15 мин. Зная же, что при длине паза в 300 *мм* оно составляло 1,5 мин., находим искомое время заклинки при длине в 350 *мм*, которое будет равно 1,65 мин. (1,5 + 0,15).

В этом примере мы допустили зависимость между изменением величины времени, потребного на заклинку одного паза, и изменением длины этого паза. Согласно принятой в нормировании терминологии длину паза в разобранном примере называют ф а к т о р о м, в л и я ю щ и м н а п р о д о л ж и т е л ь н о с т ь в р е м е н и выполнения операции, рабочего приема и т. п.

В нашем примере за фактор продолжительности принята длина паза в миллиметрах, в других случаях (для других операций) фактором продолжительности могут быть, например, вес детали, площадь сечения меди, диаметр и т. п. С изменением их величин будет меняться и потребное в работе время.

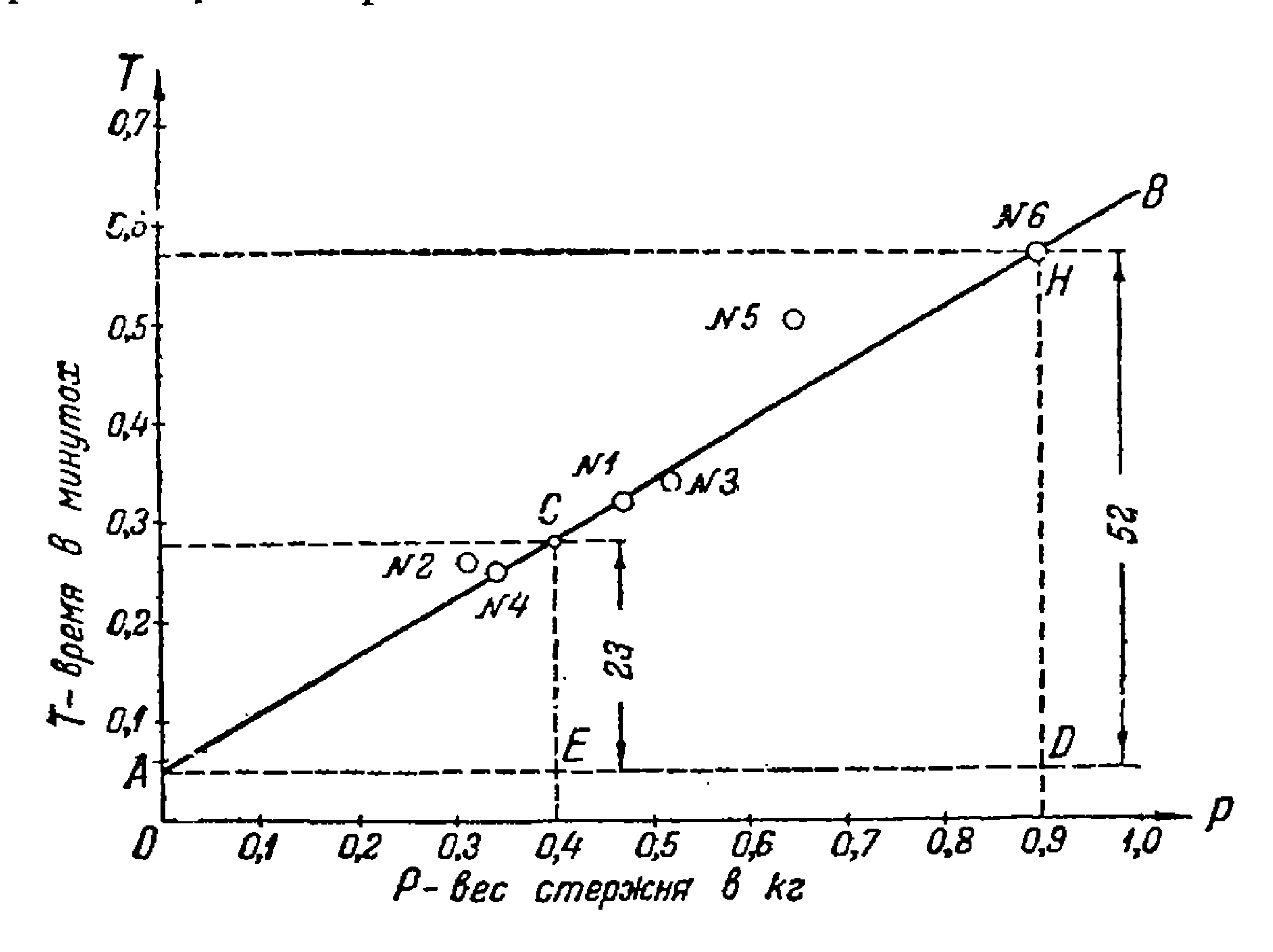


Рис. 419. График изменения времени выполнения элемента № 1 операций изолировки стержня ротора в зависимости от веса стержня.

Вернемся к нашему примеру.

Мы установили время на заклинку одного паза, длиною в 350 *мм*, равным 1,65 мин. Этого, однако, недостаточно, чтобы установить норму времени на заклинку пазов всего якоря. Для этого необходимо время заклинки одного паза умножить на количество пазов в якоре.

Известно, что одна и та же длина паза может быть у якорей с разным числом пазов.

Следовательно, зная время на заклинку одного паза при определенной его длине, можно рассчитать норму на все якори с той же длиной паза, но при любом их количестве.

Такие величины, которые показывают, сколько раз необходимо повторить какой-либо рабочий прием или операцию при выполнении

Таблица 27

Сводная таблица хронометражных норм по элементам операции изолировки роторного стержня бумагой

№ по пор.	Содержание элементов работы		№ хронометражных листов 1	2	3	4	5	6	Влияющие факторы
			Хронометражные нормы в минутах на 1 стержень						
1	Левой рукой взять стержень, правой — бумагу, положить бумагу на доску и на край бумаги уложить стержень. Промазать кистью одну сторону стержня бакелитовым лаком и, загнув край бумаги, приклеить к стержню		0,32	0,26	0,34	0,25	0,50	0,57	P
2	Повертывая правой рукой стержень, левой рукой прижимать стержень к доске; ровняя бумагу, навернуть нужное количество слоев бумаги	на полное число оборотов	0,51	0,21	0,33	0,36	0,24	0,80	L. n
		среднее время на 1 оборот	0,023	0,013	0,033	0,036	0,04	0,067	
3	Промазать второй край бумаги бакелитом, загнуть на стержень, повести по краю рукой и отложить стержень . . .		0,26	0,25	0,35	0,28	0,38	0,47	P
4	Связать пачку в 10 стержней одной вязкой и отложить . . .		0,27	0,30	0,25	0,35	0,32	0,30	
	Наименование факторов . . .		Размеры						Условные обозначения
1	Количество оборотов бумаги на стержень		22	16	10	10	6	12	n
2	Длина изолируемой части стержня . . . . *м*		0,32	0,395	0,40	0,435	0,470	0 52	L
3	Вес стержня . . . . *г*		0,47	0,31	0,52	0 84	0,65	0,90	P

процесса изготовления, назовем фактором кратности; в нашем примере таким фактором кратности является количество пазов якоря.

Запомнив эти два понятия — фактора продолжительности и фактора кратности и их значение при нормировании, приступим к разбору более сложного примера.

Пусть в результате ряда хронометражных обследований операции изолировки пазовой части роторных пластин бумагой получена сводная табл. 27 хронометражных норм по отдельным элементам этой операции.

Условимся вес стержня в 0,1 *кг* изображать отрезком прямой, равным 1 *см*. Тогда, весу в 0,2 *кг* будет соответствовать отрезок прямой в 2 *см*, весу в 0,3 *кг* — соответственно — 3 *см* и т. д.

Из сводной таблицы мы видим, что самый тяжелый стержень имел вес в 0,9 *кг*, — следовательно, этому весу будет соответствовать отрезок длиной в 9 *см*.

Построим график. Возьмем линию *OP* (рис. 419) и разделим ее на 10 отрезков, равных каждый 1 *см*, с пометками соответствующего веса в килограммах. Если мы начнем отсчитывать от точки *O* количество отрезков и дойдем до пометки с цифрой 0,9, мы насчитаем 9 отрезков или 9 *см*, что как раз соответствует весу стержня в 0,9 *кг*.

Точно так же размечена и прямая, проходящая перпендикулярно к прямой *OP* — через точку *O*. Только нанесенные на ней деления графически изображают время в долях минуты: отрезок в 1 *см* — соответствует времени в 0,1 мин.

Вернемся к сводной таблице.

Из нее мы видим, что продолжительность 1-го элемента работы при весе стержня в 0,9 *кг* (согласно хронометражу № 6) составляет 0,57 мин.

Согласно выбранному нами масштабу время в 0,57 мин. соответствует отрезку, длиной в 57 *мм*. Проведем от точки с пометкой 0,9 *кг* на прямой *OP* перпендикулярную линию, длиною в 57 *мм*, и конец ее пометим так, как это сделано на графике: точкой, обведенной кружочком. Подобным же способом нанесем и остальные точки, пользуясь данными из сводной таблицы. На графике номер, стоящий у точек, указывает на номера хронометражной сводной таблицы, на основании которого они нанесены. Затем проведем через нанесенные точки прямую линию, с тем расчетом, чтобы она пересекала возможно большее количество нанесенных точек. На графике эта прямая отмечена буквами *AB*. Мы видим, что только точка № *5* от нее несколько отдалилась, остальные же либо лежат на ней, либо расположены рядом.

При помощи этой прямой, а не путем подсчетов, как это мы делали в первом примере, можно найти время, необходимое для выполнения элемента № *1* при изолировке роторного стержня любого веса.

Предположим, что стержень весит 0,4 *кг*.

Найдем соответствующую отметку на линии *OP*, проведем через нее перпендикуляр до пересечения прямой *AB* в точке *C*. Длина этого перпендикуляра будет равна 28 *мм*, что соответствует, по условию, норме — 0,28 мин. Подобным же способом определяются нормы и при любом другом весе стержня в пределах до 1,0 *кг*.

Однако, пользуясь математикой, можно еще более упростить определение норм.

Мы видим из графика, что прямая AB, пересекаясь с прямой OT, отсекает на ней отрезок OA, длиной 5 *мм*, соответствующий по величине времени 0,05 мин.

Проведем через точку A прямую AD параллельно прямой OP, т. е. так, чтобы она по всей длине находилась от нее на расстоянии 5 *мм*. Следовательно вертикальные линии, проведенные через точки C и № *6*, станут короче на 5 *мм*, т. е. CE будет длиною 28 *мм* — —5 *мм* = 23 *мм*, а DH будет длиною 57 *мм* — 5 *мм* = 52 *мм*.

Иначе говоря, их новая длина будет соответствовать времени 0,23 мин. при весе 0,4 *кг* и 0,52 мин. при весе 0,9 *кг*. Подсчитаем теперь, какая доля времени в первом и во втором случае будет падать на единицу веса:

1-й случай . . . 0,23 : 0,4 = 0,575, с округлением 0,58
2-й „ . . . 0,52 : 0,9 = 0,577 „ „ 0,58

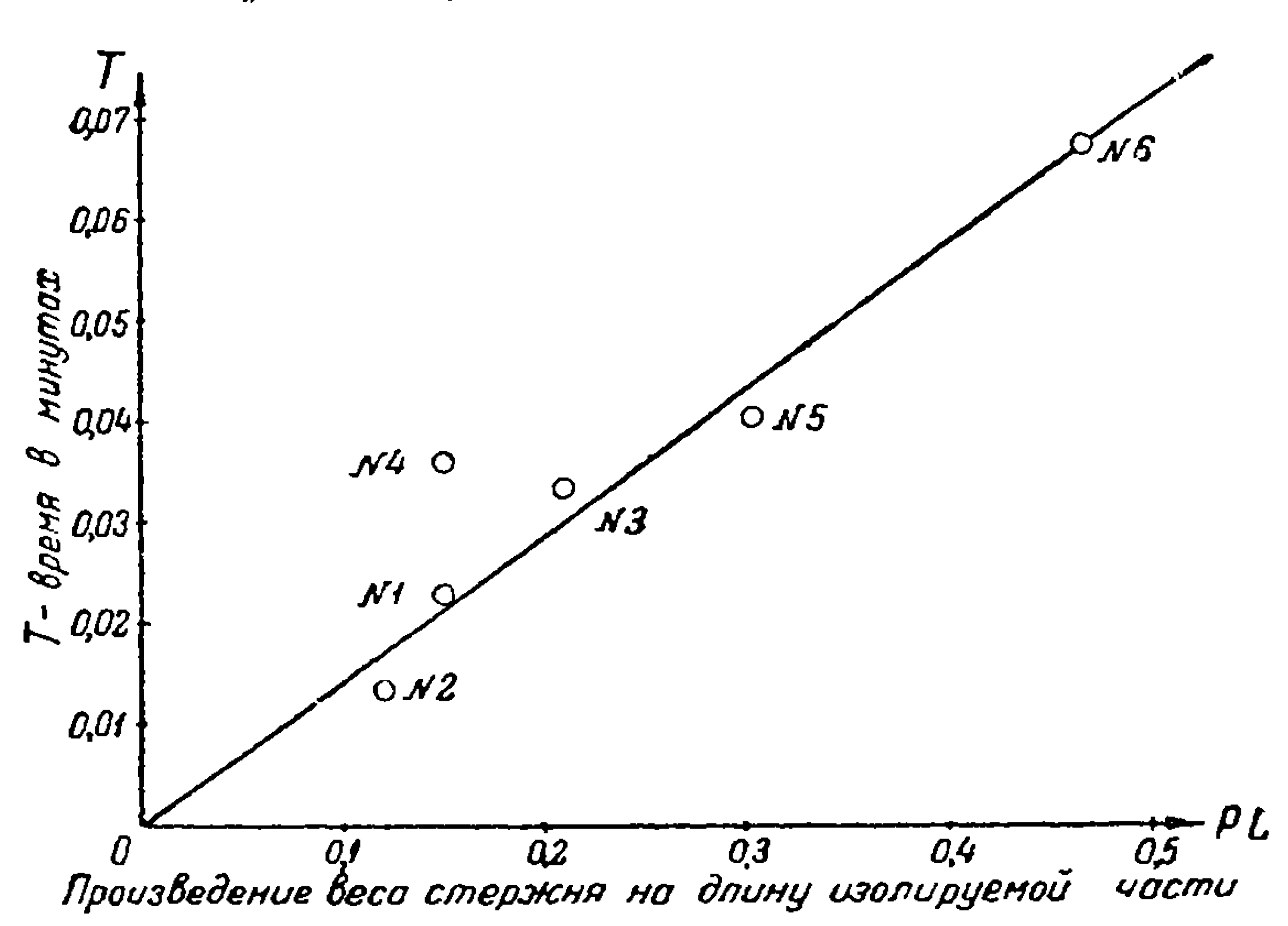


Рис. 420. График изменения времени выполнения элемента № 2 изолировки стержня в зависимости от длины изолируемой части стержня и его веса.

Из подсчета видим, что эти доли равны. Если мы проведем еще сколько угодно перпендикулярных линий к прямой OP и проделаем подобный подсчет, во всех случаях получим величину 0,58.

Следовательно, для того чтобы определить время в минутах по элементу работы № *1* для любого стержня, достаточно умножить его вес в килограммах на найденное удельное время и к полученному произведению прибавить постоянную величину 0,05.

Например при весе стержня 0,70 *кг* время составит:

$$0{,}70 \cdot 0{,}58 + 0{,}05 = 0{,}456 \text{ мин.},$$

а с округлением до второго знака составит 0,46 мин.

Обозначив условно вес стержня в килограммах буквой P, а время в минутах через T, мы на основании вышеизложенного можем написать формулу:

$$T = 0{,}05 + 0{,}58\,P.$$

Пользуясь этой формулой, мы можем подсчитать с достаточной для практики точностью нормы, зная лишь величины влияющих на продолжительность факторов.

На рис. 420 и 421 показаны графики для второго и третьего элементов процесса изолировки стержней.

Так как четвертый элемент операции изолировки стержня имеет малые отклонения величин времени и, кроме того, не видна связь между этими отклонениями и каким-либо фактором, для этого элемента за норму принята постоянная средняя арифметическая величина, равная 0,28 мин.

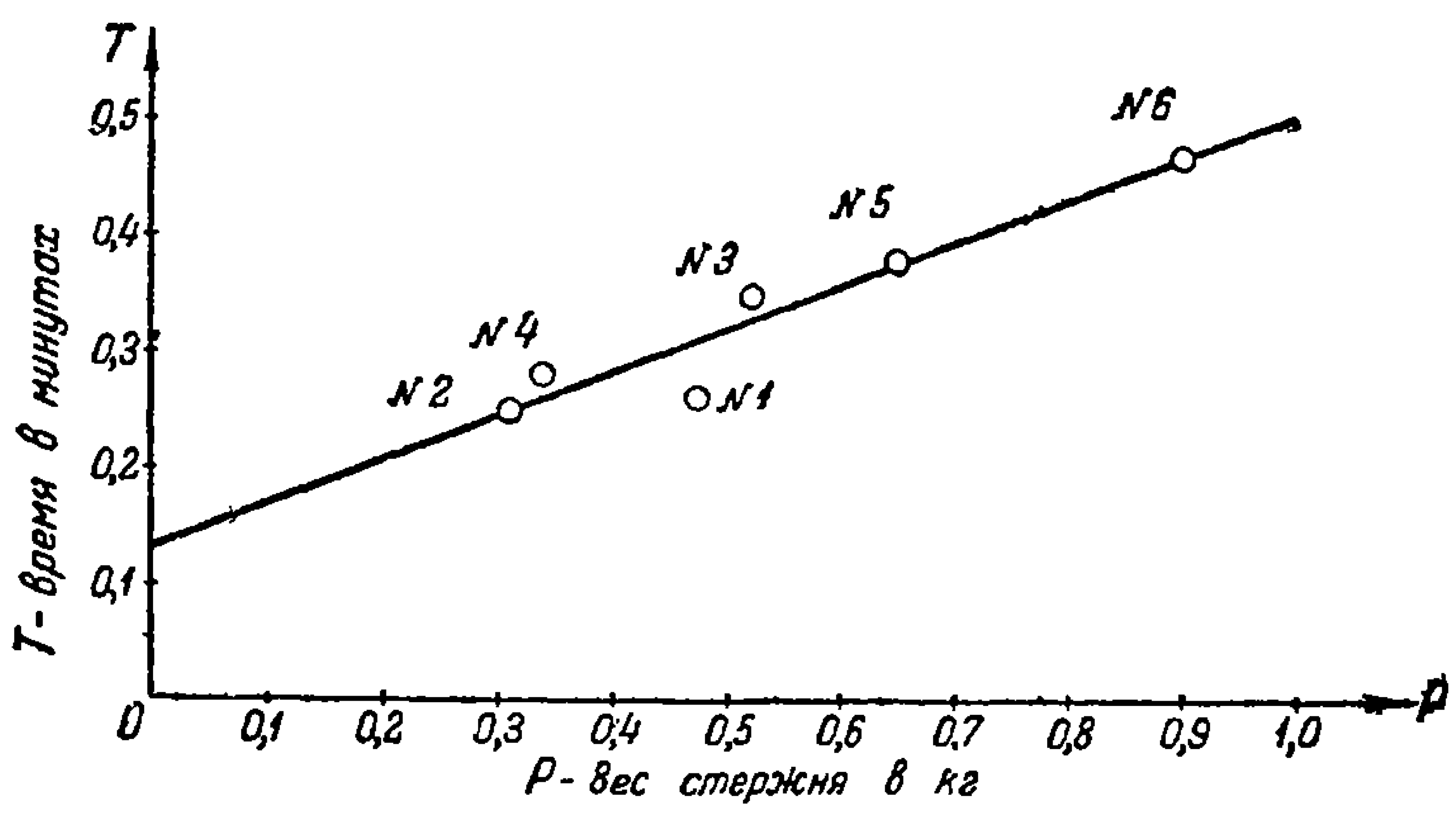


Рис. 421. График изменения времени выполнения элемента № 3 изолировки стержня в зависимости от его веса.

Располагая подобными графиками или формулами, легко составить таблицы элементных норм на все возможные изменения величин принятых факторов и затем пользоваться ими при поэлементном нормировании.

Однако можно еще более упростить технику установления норм, избегнуть кропотливого поэлементного расчета, быстро определяя суммарную норму на изделие без ущерба для качества результатов.

Составим таблицу 28.

Во второй графе таблицы перечислены все элементы штучного времени процесса изолировки стержня, в третьей графе приведены алгебраические выражения продолжительностей элементов в минутах, составленные с помощью графического анализа, в четвертой указано число необходимых исполнителей и в пятой — размеры кратности элементов, т. е. величин, указывающих, сколько раз необходимо повторить какой-либо элемент в процессе изготовления единицы продукции (в нашем примере одного стержня).

Величины, характеризующие кратность (фактор кратности), могут быть выражены либо в виде абсолютной величины, либо условно буквами, если эти величины могут изменяться, как например, для 2-го

Таблица 28

Составление суммарной формулы расчета штучной нормы времени (операция: «изолировать стержень ротора бумагой»)

№ по пор.	Наименование элементов	Продолжительность в минутах (на 1 стержень)	Количество исполнителей	Кратность	Трудоемкость в минутах (на 1 стержень)
1	Промазка стержня и приклейка бумаги	$0{,}05 + 0{,}58P$	1	1	$0{,}05 + 0{,}58P$
2	Навертывание бумаги на стержень	$0{,}143PL$	1	n	$0{,}143PLn$
3	Окончательная приклейка бумаги к стержню	$0{,}13 + 0{,}38P$	1	1	$0{,}13 + 0{,}38P$
4	Перевязка стержней в пачки по 10 шт.	0,28 (на 10 стержней)	1	$\frac{1}{10}$	0,028
Суммарная расчетная формула для определения штучной нормы времени $T = 0{,}0208 + 0{,}96P + 0{,}143PLn$					

элемента «навернуть бумагу на стержень» (фактор кратности — число оборотов бумаги на стержне — обозначен буквой n, так как в разных стержнях может быть разное число слоев).

В элементе № 4 фактор кратности выражен в виде дробной величины ($^1/_{10}$) и характеризует долю времени, потребного на перевязку стержней в пачки, падающую на 1 стержень. Эта операция по средним данным хронометража занимает 0,28 мин., причем имеет место 1 раз на каждые 10 стержней. Следовательно, для того чтобы правильно учесть долю времени, падающую на 1 стержень, необходимо к времени изолировки 1 стержня прибавить $^1/_{10}$ от этого времени, т. е. 0,028 мин.

Наконец в последней (6-й) графе проставляются произведения величин 3-й, 4-й и 5-й граф. Эти произведения, выраженные формулами, определяют величину общего потребного времени на выполнение данного элемента в процессе изолировки одного стержня, иначе говоря, трудоемкость каждого элемента в штучном времени.

Располагая формулами трудоемкости по каждому элементу, можно путем их суммирования получить общую итоговую формулу, позволяющую сразу, без предварительного поэлементного расчета, определить искомую штучную норму.

Сложим эти алгебраические выражения по всем элементам операции, получим:

$$(0{,}05 + 0{,}58P) + 0{,}143PLn +$$

$$+ (0{,}13 + 0{,}38P) + 0{,}028 = 0{,}208 + 0{,}96P + 143PLn = T \text{ мин.}$$

Учтем, путем увеличения всех слагаемых формулы, 4% прибавочного времени, установленного на основании фотографии. Тогда формула примет следующий вид:

$$T_{мин} = 0{,}216 + 1P + 0{,}1488\ PLn.$$

Так как практически единицей нормирования в цехе является не 1 стержень, а 100 стержней, то умножим нашу формулу на 100; получим:

$$T_{мин} = 21{,}6 + 100P + 14{,}88\ PLn.$$

Наконец переведем минуты в часы, разделив все слагаемые последнего выражения на 60 и округлив полученные цифры:

$$T_{час} = 0{,}36 + 1{,}67\ P + 0{,}25\ PLn;$$

упростим формулу, дав ей окончательный, удобный для расчета вид:

$$T_{час} = 0{,}36 + P\,(1{,}67 + 0{,}25\ Ln).$$

Приведенный пример показывает, как в результате анализа процесса и применения математических приемов удается обобщить в виде алгебраической формулы расчет необходимого для выполнения трудового процесса времени, с учетом всех влияющих факторов, и упростить технику расчета норм.

Рассмотрим конкретный пример.

Пусть требуется изолировать 432 роторных стержня при следующих данных:

вес одного стержня $P = 0{,}7$ *кг*;

длина изолируемой части $L = 0{,}4$ *м*;

количество оборотов на стержень $n = 10$.

Подставив эти параметры в полученную формулу, получим норму на 100 стержней:

$$\begin{aligned} T_{час} &= 0{,}36 + P\,(1{,}67 + 0{,}25\ Ln) = \\ &= 0{,}36 + 0{,}7\,(1{,}67 + 0{,}25 \cdot 0{,}4 \cdot 10) = \\ &= 0{,}36 + 0{,}7\,(1{,}67 + 1{,}0) = \\ &= 0{,}36 + 0{,}7 \cdot 2{,}67 = 0{,}36 + 1{,}869 = 2{,}229. \end{aligned}$$

Округлив результат, получим норму на 100 шт. — 2,23 часа, а следовательно за 432 шт.:

$$2{,}23 \cdot 4{,}32 = 9{,}63 \text{ часа}.$$

Этот способ нормирования, конечно, много проще и короче нормирования по элементам.

Пользуясь составленной формулой, можно заранее разработать таблицу норм на все часто повторяющиеся параметры стержней. Однако практически таблицы не всегда получаются достаточно удобными, иногда они содержат очень большое количество цифр. Поэтому прибегают к построению так называемых номограмм на основании предварительно разработанных формул. Эти номограммы позволяют, зная величины учтенных в формуле факторов (P, L и n), найти нужную

норму без всяких расчетов. На рис. 422 приведена такая номограмма, составленная на основании формулы нашего примера.

На номограмме изображены две шкалы. На одной, со значком n, нанесены отрезки с пометками количества слоев изоляции на стержне; на другой шкале, со значком T, — пометки величин нормы в часах за изолировку 100 штук стержней.

Между этими шкалами нанесены две группы взаимно пересекающихся линий, расходящихся лучами. Одна группа линий построена для учета длины стержней, другая — веса стержней, причем каждая линия соответствует определенной величине длины или веса стержня.

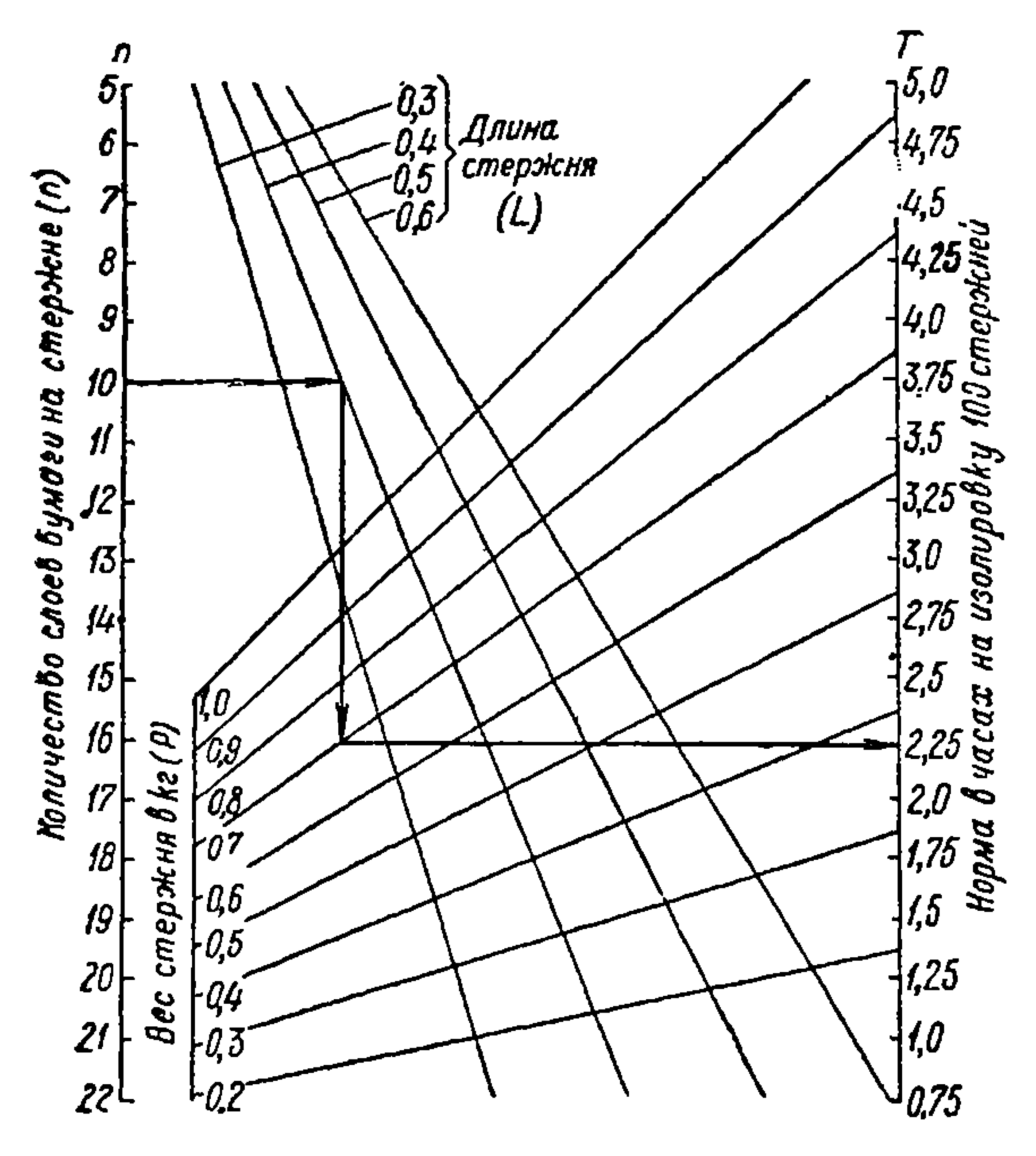


Рис. 422. Номограмма для определения нормы в часах на изолировку 100 роторных стержней бумагой.

Построения этих линий и шкал подчинены определенным правилам, являющимся объектом изучения специальной науки — так называемой номографии.

Как же пользоваться номограммой при определении нормы? Для этого проводят перпендикуляр от пометки на шкале со значком n до пересечения с наклонной линией с соответствующей пометкой длины стержня в метрах; далее от полученной точки пересечения проводят линию, параллельную шкале n, до пересечения с наклонной линией, соответствующей весу стержня, и, наконец, от новой точки пересечения опускают перпендикуляр к шкале со значком T и в точке пересечения читают искомую норму.

Этот порядок пользования изображен на рис. 422 линиями со стрелками для определения нормы в случае, если:

1) число слоев изоляции на стержне $n = 10$;

2) длина стержня в метрах $L = 0{,}4$ *м*;

3) вес стержня в килограммах $P = 0{,}7$ *кг*.

Разбирая вышеприведенные примеры, мы познакомились со всеми этапами расчета штучной нормы. Эти этапы следующие:

1. Вначале проектируется план выполнения нормируемой операции путем последовательного изложения всех ее элементов. Степень деления операции на элементы должна отвечать следующим условиям: а) дать ясное изложение порядка выполнения нормируемой операции;

б) в отдельные элементы могут быть включены такие рабочие приемы и действия исполнителя, время выполнения которых находится в зависимости от одних и тех же факторов продолжительности и трудоемкости.

2. Далее по каждому элементу проставляется его продолжительность. Эта продолжительность может быть выражена в виде абсолютной величины или же в виде алгебраического выражения, в зависимости от того, хотим ли рассчитать отдельную штучную норму или составить суммарную расчетную формулу.

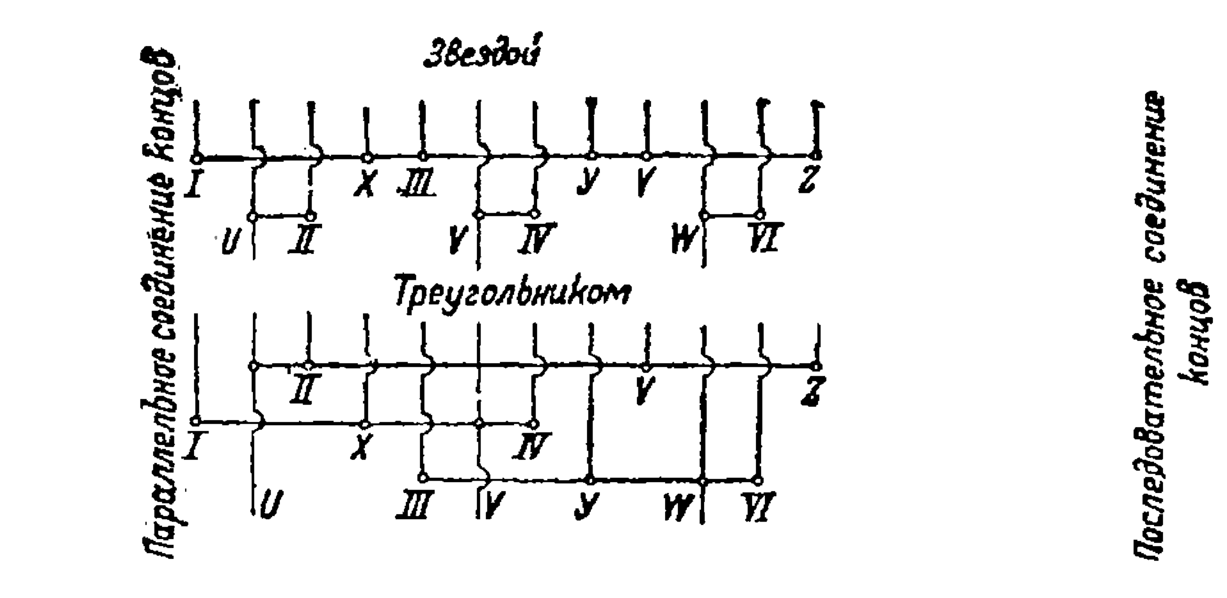
3. Затем по каждому элементу проставляется количество исполнителей, участвующих в его выполнении.

4. Далее устанавливается кратность каждого элемента, размер которой также может быть выражен либо в виде абсолютной величины, либо в виде алгебраического выражения, как это указано выше.

5. Наконец рассчитывается трудоемкость каждого элемента, получаемая путем перемножения величин продолжительностей, числа исполнителей и кратности.

6. Затем подсчитывается итог всех величин трудоемкости по всем элементам операции, и полученная сумма, в целях учета прибавочного времени, увеличивается на соответствующий процент. В приложении VI приводится заполненная по указанным выше правилам нормировочная карта, разработанная на основании хронометража.

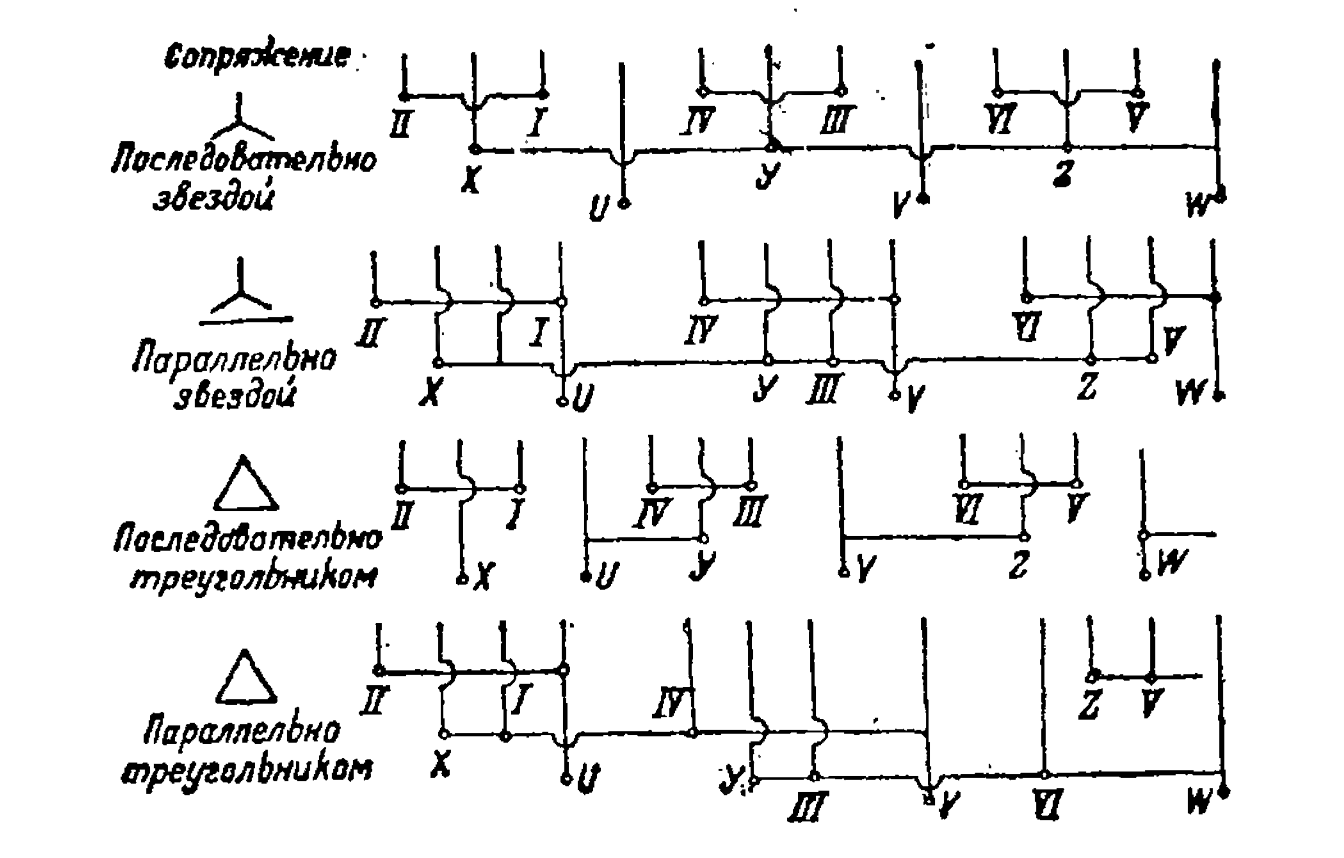
СОЕДИНЕНИЯ РОТОРОВ (С УДЛИНЕННЫМ ПЕРЕХОДОМ)



Число полюсов 2p	Число оборотов в мин. (синхр.)	Число пазов ротора Z	Число пазов на полюс и фазу q	Шаг обмотки		Выводные концы групп для верхних стержней						Выводные концы групп для нижних стержней						Число удлиненных стержней в шт.
				Норм. y	Ненорм. y_a	U	V	W	X	Y	Z	I	I	III	IV	V	VI	
2	3 000	72	7	21	22	1	15	29	22	36	8	28	7	42	21	14	35	3·12 = 36
2	3 000	108	9	27	28	1	19	37	28	46	10	36	9	54	27	18	45	
2	3 000	72	12	36	37	1	25	49	37	61	13	48	12	72	36	24	60	3·22 = 66
2	3 000	84	14	42	43	1	29	57	43	71	15	56	14	84	42	28	70	
2	3 000	60	10	30	31	1	21	41	31	54	11	40	10	10	30	20	50	
4	1 500	24	2	6	7	1	9	17	7	15	23	20	2	4	10	12	18	
4	1 500	48	4	12	13	1	17	33	13	29	45	40	4	8	20	24	36	3·6 = 18

4	1 500	60	5	15	16	1	21	41	16	36	56	50	5	10	25	80	45	3.8 =24
4	1 500	72	6	18	19	1	25	49	19	43	67	60	6	12	30	36	54	3.10=30
4	1 500	84	7	21	22	1	29	57	22	50	78	70	7	14	35	42	63	3.12=36
4	1 500	96	8	24	25	1	33	55	25	57	72	80	8	16	40	48	72	3.14=42
6	1 000	72	4	12	13	1	17	57	13	29	69	64	4	8	20	48	60	3.6 =18
6	1 000	90	5	15	16	1	21	71	16	36	86	80	5	10	25	60	75	3.8 =24
6	1 000	108	6	18	19	1	25	85	19	43	103	96	6	12	30	72	90	3.10=30
6	1 000	126	7	21	25	1	29	99	22	50	120	112	7	14	35	84	105	3.12=36
6	1 000	162	9	27	28	1	37	127	28	64	154	144	9	18	45	108	135	3.16=48
8	750	72	3	9	10	1	25	49	10	34	58	66	3	18	27	42	51	3.4 =12
8	750	96	4	12	13	1	33	65	13	45	77	88	4	24	36	56	68	3.6 =18
8	750	120	5	15	16	1	41	81	16	56	96	110	5	30	45	70	85	3.8 =24
8	750	144	6	18	19	1	49	97	19	67	115	132	6	36	54	84	102	3.10=30
8	750	168	7	21	22	1	57	113	22	78	134	154	7	42	63	98	119	3.12=36
10	600	90	3	9	10	1	31	61	10	40	70	84	3	24	39	54	63	3.4 =12
10	600	120	4	12	13	1	41	81	13	53	93	112	4	32	44	72	84	3.6 =18
10	600	150	5	15	16	1	51	101	16	66	116	140	5	40	55	90	105	3.8 =24
10	600	210	7	21	22	1	71	141	22	92	162	196	7	56	77	126	147	3.12=36
10	600	240	8	24	25	1	81	161	25	105	185	224	8	64	88	144	168	3.14=42
12	500	108	3	9	10	1	31	79	10	40	88	102	3	24	33	72	81	3.4 =12
12	500	144	4	12	13	1	41	105	13	53	117	136	4	32	44	96	108	3.6 =18
12	500	216	6	18	19	1	61	157	19	79	175	204	6	48	66	144	162	3.10=30
12	500	252	7	21	22	1	71	183	22	92	204	238	7	56	77	168	189	3.12=36
14	428,5	210	5	15	16	1	71	141	16	86	156	200	5	60	75	130	145	3.8 =24
14	428,5	294	7	21	22	1	99	197	22	120	218	280	7	84	105	182	203	3.12=36
16	375	192	4	12	13	1	65	129	13	77	141	184	4	56	68	120	132	3.6 =18
16	375	240	5	15	16	1	81	161	16	96	176	230	5	70	85	150	165	3.8 =24
24	250	216	3	9	10	1	67	151	10	76	160	210	3	60	69	144	153	3.4 =12
24	250	288	4	12	13	1	89	201	13	101	213	280	4	80	92	192	204	3.6 =18
24	250	360	5	15	16	1	111	251	16	126	251	350	5	100	115	240	255	3.8 =24
32	187,5	384	4	12	13	1	129	257	13	141	269	376	4	120	132	248	260	3.6 =18
32	187,5	480	5	15	16	1	161	321	16	176	336	470	5	150	165	310	325	3.8 =24
36	167	324	3	9	10	1	103	223	10	112	282	318	3	96	105	216	225	3.4 =12
36	167	432	4	12	13	1	137	297	13	149	309	424	4	128	140	288	300	3.6 =18
36	167	540	5	15	16	1	171	371	16	186	386	530	5	160	175	360	375	
48	125	432	3	9	10	1	139	295	10	148	304	426	3	132	141	288	297	3.4 =12
48	125	576	4	12	13	1	189	393	13	197	405	568	4	176	188	384	390	3.6 =18

СОЕДИНЕНИЯ РОТОРОВ (С УКОРОЧЕННЫМ ПЕРЕХОДОМ)



Число оборотов ротора в мин. (синхр.)	Число полюсов $2p$	Число пазов в роторе Z	Число пазов на полюс и фазу q	Шаг нормальный y	Шаг ненормальный y_a	Выводные концы групп											
						Верхние стержни						Нижние стержни					
						U	V	W	X	Y	Z	I	III	V	II	IV	VI
750	8	144	6	1—19	1—18	48	96	144	30	78	126	25	73	121	7	55	103
600	10	150	5	1—16	1—15	50	100	150	35	85	135	31	81	131	16	66	116
600	10	180	6	1—19	1—18	60	120	180	42	102	162	37	97	157	19	79	139

500	12	180	5	1—16	1—15	50	130	180	35	115	165	31	111	161	16	93	146
500	12	216	6	1—19	1—18	60	156	216	42	138	198	37	133	193	19	115	175
500	12	252	7	1—22	1—21	70	182	252	49	161	231	43	155	225	22	134	204
428,5	14	252	6	1—19	1—18	84	168	252	66	150	234	61	145	229	43	127	211
375	16	114	3	1—10	1—9	48	96	144	39	87	135	37	85	133	28	76	124
375	16	288	6	1—19	1—18	96	192	288	78	174	270	73	169	265	55	151	247
333,5	18	162	3	1—10	1—9	48	114	162	39	105	153	37	103	151	28	94	142
333,5	18	216	4	1—13	1—12	64	152	216	52	140	204	49	137	201	37	125	189
333,5	18	270	5	1—16	1—15	80	190	270	65	175	255	61	171	251	46	156	236
300	20	180	3	1—10	1—9	60	120	180	51	41	171	49	109	169	40	100	160
300	20	240	4	1—13	1—12	80	160	240	68	148	228	65	145	225	53	133	213
300	20	300	5	1—16	1—15	100	200	300	85	185	285	81	181	281	66	166	266
250	24	216	3	1—10	1—9	66	150	216	57	141	207	55	139	205	46	130	196
250	24	288	4	1—13	1—12	88	200	288	76	188	276	73	185	273	61	173	261
187,5	32	384	4	1—13	1—12	128	256	384	116	244	372	113	241	369	101	229	357
83	36	324	3	1—10	1—9	102	222	324	93	213	315	91	216	313	82	202	304

МЕДЬ ОБМОТОЧНАЯ

ОСТ 4123

Настоящий стандарт распространяется на голую или изолированную медь круглых или прямоугольных сплошных сечений, применяемую в обмотках электрических машин, трансформаторов и аппаратов.

А. КЛАССИФИКАЦИЯ

§ 1. По роду изоляции обмоточная медь подразделяется на **следующие марки:**

Марка	ПЭ — изоляция эмалевая.			
„	ПЭБО	„	„	и один слой хлопчатобумажной обмотки.
„	ПЭБД	„	„	и два слоя хлопчатобумажной обмотки.
„	ПЭШО	„	„	и один слой шелковой обмотки.
„	ПЭШД	„	„	и два слоя шелковой обмотки.
„	ПШО	„	одним слоем шелковой обмотки.	
„	ПШД	„	двумя слоями шелковой обмотки.	
„	ПБО	„	одним слоем хлопчатобумажной обмотки.	
„	ПБД	„	двумя слоями хлопчатобумажной обмотки.	
„	ПБТ	„	тремя „ „ „	
„	ПБОО	„	одним слоем хлопчатобумажной обмотки и хлопчатобумажной оплеткой.	
„	ПБДО	„	двумя слоями хлопчатобумажной обмотки и хлопчатобумажной оплеткой.	
„	ПББО	„	двумя слоями обмотки лентой из кабельной бумаги и одним слоем хлопчатобумажной обмотки.	
„	ПБ	„	двумя или более слоями обмотки и лентой из кабельной бумаги.	
„	ПА	„	из асбестового волокна.	
„	ПАО	„	асбестовой оплеткой.	

Примечания: 1. Медь обмоточная марки ПЭ должна удовлетворять ОСТ «Проволока медная эмалированная».

2. Медь обмоточная марок ПА и ПАО должна удовлетворять особому ОСТ.

§ 2. По форме сечения обмоточная медь подразделяется на круглую и прямоугольную.

Утвержден Всесоюзным комитетом по стандартизации при Совете труда и обороны 28 декабря 1931 г. как обязательный с 1 февраля 1932 г.

Б. ТЕХНИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ

§ 3. Размеры, допуски и вес круглой и прямоугольной голой обмоточной меди должны быть согласно табл. 1—4 (табл. 2 см. вклейку).

Таблица 1

Размеры, допуски и вес круглой голой обмоточной меди

Номинальный диаметр, *мм*	Предельное отклонение, *мм*	Сечение, *мм*^{2}	Вес 1 *км*, *кг*	Номинальный диаметр, *мм*	Предельное отклонение, *мм*	Сечение, *мм*^{2}	Вес 1 *км*, *кг*
0,03		0,00071	0,0063	(0,72)		0,40715	3,629
0,04		0,00126	0,0120	0,74		0,43008	3,833
0,05		0,00196	0,0175	(0,77)		0,46556	4,150
0,06		0,00283	0,0252	0,80		0,50265	4,430
0,07		0,00385	0,0343	(0,83)		0,54106	4,822
0,08		0,00502	0,0448	0,86	± 0,015	0,58088	5,177
0,09		0,00636	0,0567	(0,90)		0,63617	5,670
				0,93		0,67929	6,054
0,10		0,00785	0,070	(0,96)		0,72382	6,451
0,11		0,00950	0,085	1,00		0,78540	7,000
0,12		0,01131	0,101				
0,13		0,01327	0,118	(1,04)		0,8495	7,872
0,14		0,01539	0,137	1,08		0,9161	8,165
0,15		0,01767	0,158	(1,12)		0,9852	8,781
0,16		0,02011	0,179	1,16		1,0568	9,410
0,17	± 0,005	0,02270	0,202	(1,20)		1,1310	10,081
0,18		0,02545	0,227	1,25		1,2272	10,937
0,19		0,02835	0,253	(1,30)	± 0,02	1,3273	11,830
0,20		0,03142	0,280	1,35		1,4314	12,757
0,21		0,03464	0,309	(1,40)		1,5394	13,721
0,23		0,04155	0,370	1,45		1,6513	14,717
0,25		0,04909	0,437	(1,50)		1,7671	15,750
				1,56		1,9113	17,035
0,27		0,05726	0,510	(1,62)		2,0612	18,371
0,29		0,06605	0,589	1,68		2,2167	19,757
0,31		0,07548	0,673				
0,33		0,08553	0,762	(1,74)		2,3779	21,194
0,35		0,09621	1,857	1,81		2,5730	22,933
0,38		0,11341	1,011	(1,88)		2,7759	24,742
0,41		0,13202	1,177	1,95	± 0,025	2,9865	26,617
0,44		0,15205	1,355	(2,02)		3,2047	28,563
0,47		0,17349	1,546	2,10		3,4637	30,870
0,49	± 0,01	0,18848	1,675				35,753
0,51		0,20428	1,821	2,26		4,0115	
(0,53)		0,22051	1,960	2,44		4,6759	41,675
0,55		0,23758	2,118	2,63	± 0,03	5,4325	48,418
(0,57)		0,25505	2,267	2,83		6,2902	56,022
0,59		0,27340	2,437				
(0,62)		0,30191	2,691	3,05		7,3062	65,117
0,64		0,32170	2,877	3,28	± 0,04	8,4496	75,309
(0,67)		0,35256	3,142	3,53		9,7868	87,226
0,69		0,37393	3,333	3,80		11,341	101,08

Примечания: 1. Предельные отклонения для меди обмоточной, диаметром менее 0,10 *мм*, должны удовлетворять ОСТ «Эмалированная проволока».

2. Размеры меди, стоящие в скобках, не рекомендуются и применяются лишь тогда, когда это дает по расчету экономию меди.

Таблица 3

Допуски на голую прямоугольную медь (рис. 1 к табл. 2, см. вклейку)

Размеры *a* или *b*, *мм*	Предельные отклонения, *мм*
0,74— 1,25	±0,02
1,35— 1,95	±0,03
2,1 — 2,83	±0,04
3,05— 4,4	±0,05
4,7 — 9,3	±0,07
10,0 —14,5	±0,09
15,6 —19,5	±0,12
21,0 —26,3	±0,15
28,3 —35,3	±0,20
41 —55	±0,25
64	±0,30

Таблица 4

Таблица весов для стандартных сечений прямоугольной меди

Сечение, $мм^2$	Вес 1 *км*, *кг*	Сечение, $мм^2$	Вес 1 *км*, *кг*	Сечение, $мм^2$	Вес 1 *км*, *кг*	Сечение, $мм^2$	Вес 1 *км*, *кг*
2,83	25,2	7,2	64,1	11,3	101	16,6	148
3,04	27,0	7,3	65	11,4	101	16,7	149
3,28	29,2	7,4	65,9	11,5	102	16,8	150
3,29	29,3	7,5	66,7	11,6	103	16,9	150
3,53	31,4	7,7	68,5	11,7	104	17,6	157
3,54	31,5	7,8	69,4	12,2	109	17,8	158
3,6	32	7,9	70,3	12,3	109	17,9	159
3,8	33,8	8,0	71,2	12,4	110	18,1	161
4,1	36,5	8,3	73,9	12,5	111	19,1	170
4,2	37,4	8,4	74,8	13,1	117	19,2	171
4,4	39,2	8,6	76,5	13,2	117	19,3	172
4,5	40	8,9	79,2	13,4	119	19,5	174
4,7	41,8	9,0	80,1	13,5	120	19,6	174
4,8	42,7	9,1	81	14,1	125	20,6	183
4,9	43,6	9,2	81,9	14,2	126	20,7	184
5,1	45,4	9,3	82,9	14,3	127	20,8	185
5,3	47,2	9,7	86,3	14,4	128	21,0	187
5,5	48,9	9,8	87,2	14,5	129	21,9	195
5,7	50,7	9,9	88,1	14,6	130	22,2	198
5,9	52,5	10,0	89	15,2	135	22,4	199
6,2	55,2	10,4	93	15,3	136	22,5	200
6,3	56,1	10,5	93	15,4	137	22,6	201
6,4	57	10,6	94	15,6	139	22,7	202
6,7	59,6	10,7	95	15,7	140	24,0	214
6,8	60,5	10,8	96	16,2	144	24,1	214
6,9	61,4	11,2	100	16,5	147	24,2	215

Сечение, $мм^2$	Вес 1 *км*, *кг*	Сечение, $мм^2$	Вес 1 *км*, *кг*	Сечение, $мм^2$	Вес 1 *км*, *кг*	Сечение, $мм^2$	Вес 1 *км*, *кг*
24,3	216	38,0	338	63,6	566	98,5	876
24,4	217	40,2	358	63,7	567	98,8	880
25,7	229	40,6	362	63,8	568	99,2	883
25,8	230	40,7	363	64,0	570	99,3	884
26,0	231	40,8	363	68,0	605	99,5	886
26,1	232	40,9	364	68,4	610	99,7	887
26,2	233	41,0	365	68,6	610	99,8	888
26,3	234	41,1	366	68,7	611	106	943
27,5	245	43,5	387	68,8	612	106,9	951
27,9	248	43,6	388	68,9	613	107,0	952
28,0	249	43,8	390	73,1	650	107,1	953
28,1	250	43,9	391	73,2	653	107,3	956
28,2	251	44,0	392	73,7	656	107,4	956
28,3	252	44,1	393	73,8	657	107,5	957
29,9	266	44,2	394	73,9	658	107,6	957
30,1	268	44,3	394	74,0	659	114,5	1020
30,2	269	46,8	417	74,2	660	115	1022
30,3	270	47,2	420	78,7	700	115,3	1027
30,4	271	47,3	421	79	703	115,5	1029
30,5	271	47,4	422	79,3	706	115,6	1030
32,2	287	47,5	422	79,4	707	115,7	1030
32,3	287	47,6	423	79,6	709	115,8	1030
32,4	288	47,7	424	79,8	710	123,4	1100
32,5	289	50,6	450	79,9	711	124,1	1110
32,6	290	50,8	453	80,0	712	124,2	1110
32,7	291	51,0	454	85,5	760	124,3	1110
32,8	292	51,1	455	85,6	762	124,6	1110
32,9	293	51,2	456	85,7	763	124,8	1110
34,6	308	54,8	488	85,8	764	132,8	1180
35,0	312	54,9	489	85,9	765	133,9	1190
35,1	312	55,0	490	86,0	765	134	1190
35,2	313	55,1	491	86,1	765	134,2	1190
35,3	314	58,5	521	91,5	815	134,3	1190
37,4	333	58,9	524	92,1	820	143,1	1270
37,5	334	59,0	525	92,2	820	144,1	1280
37,6	335	59,1	526	92,4	823	144,4	1280
37,7	336	59,2	527	92,5	824	153,9	1370
37,8	336	59,3	528	92,6	825	155,3	1385
37,9	337	63,3	564	92,8	827	155,4	1385
						155,9	1385

Таблица 5

Толщина изоляции круглой обмоточной меди (см. рис. 2).

D — диаметр обмоточного провода с изоляцией;

d — диаметр голого обмоточного провода (жилы).

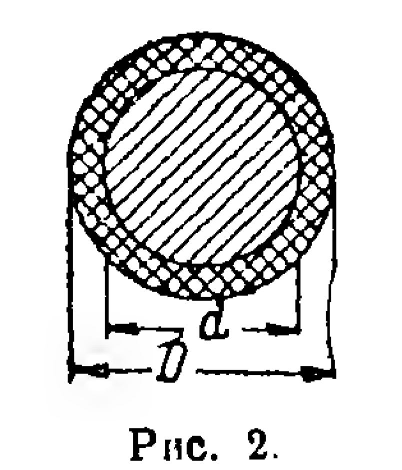


Рис. 2.

Марки	Диаметр голого провода, *мм*																			
	От 0,10 до 0,20		От 0,21 до 0,25		От 0,27 до 0,29		От 0,81 до 0,33		От 0,41 от 0 49		От 0,51 до 0,72		От 0,74 до 1,04		От 1,08 до 1,50		От 1 56 до 2,02		От 2,10 до 3,80	
	$D-d$	Предельные отклонения	$D-d$	Предельные отклонения	$D-d$	Предельные отклонения	$D-d$	Предельные отклонения	$D-d$	Предельные отклонения	$D-d$	Предельные отклонения	$D-d$	Предельные отклонения	$D-d$	Предельные отклонения	$D-d$	Предельные отклонения	$D-d$	Предельные отклонения
ПЭ . . .	0,015	±0,005	0,020	±0,005	0,025	±0,005	0,030	±0,01	0,035	±0,01	0,040	±0,01	0,050	±0,01	0,06	±0,01	0,06	±0,01	—	—
ПЭБО . .	0,105	±0,015	0,110	±0,015	0,135	±0.020	0 140	±0,020	0,145	±0,020	0,150	±0,020	0,160	±0 020	0,185	±0,025	0,185	±0,025	—	—
ПЭБД . .	0,185	±0,020	0,190	±0 020	0,225	±0,030	0,230	±0,030	0,235	±0,030	0,240	±0,030	0,250	±0,030	0,30	±0,04	0,30	±0,04	—	—
ПЭШО .	0,075	±0,01	0,08	±0,01	0,085	±0,015	0.09	±0,015	0,095	±0,015	0,10	±0,015	0,11	±0,015	0,12	±0,015	—	—	—	—
ПЭШД .	0,135	±0,015	0,14	±0,015	0,145	±0,020	0,15	±0,02	0,155	±0,02	0,16	±0,02	0,17	±0 02	0.18	±0,02	—	—	—	—
ПШО . .	0,06	±0,005	0,06	±0,005	0,06	±0,005	0,06	±0,005	0,06	±0,005	0,06	±0 005	0,06	±0,005	0,06	±0,005	—	—	—	—
ПШД . .	0,12	±0,01	0.12	±0,01	0,12	±0.01	0,12	±0.01	0,12	±0,01	0 12	±0,01	0,12	±0,01	0.12	±0.01	—	—	—	—
ПБО . .	0,09	±0,01	0,09	±0,01	0,11	±0,01	0,11	±0,01	0,11	±0,01	0 11	±0,01	0,11	±0.01	0,125	±0,015	0 125	±0,015	0.16	±0,02
ПБД . .	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0,20	±0.02	0,20	±0,02	0,25	±0,020	0,25	±0,02	0,30	±0,03
ПБТ . .	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
ПБОО . .	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0,50	±0,05	0,50	±0,05	0,50	±0,05
ПБДО .	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0,65	±0,06	0,65	±0,05	0,65	±0,06
ПББО . .	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0,45	±0,05	0,45	±0,05

Примечания: 1. Допуск относится только к толщине изоляции ($D-d$).
2. Круглая медь обмоточная марки ПБТ допускается также, по договоренности с кабельными заводами, с размерами и допусками изоляции, соответствующими прямоугольной меди марки ПБТ,

§ 4. Обмоточная медь должна удовлетворять ОСТ 420 и 421; начиная с диаметра более 10 *мм* она должна быть изготовлена в мягкоотожженном виде, а до диаметра 0,10 *мм* включительно — должна изготовляться без отжига.

Прямоугольная обмоточная медь должна поставляться только в отожженном виде.

Примечание. Вышеуказанное не распространяется на медную эмалированную проволоку, которая должна удовлетворять специальному ОСТ.

§ 5. Края прямоугольной отожженной меди должны быть закруглены радиусом в зависимости от меньшей стороны сечения (см. рис. 3).

При меньшей стороне:

$a < 1{,}81$ *мм* — края должны быть закруглены настолько, чтобы не было острых граней.

$a \geq 1{,}81$ *мм* — радиус закругления $r = 0{,}5$ *мм*.

§ 6. Толщина изоляции для круглой и прямоугольной обмоточной меди указана в табл. 5 и 6; в этих же таблицах даны допуски на толщину изоляции. Максимальный допуск на изолированную медь должен быть не более суммы допусков на медь и изоляцию (см. табл. 5 и 6).

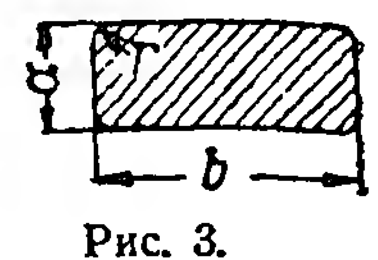


Рис. 3.

Таблица 6

Толщина изоляции обмоточной меди (см. рис. 4)
(миллиметры)

Меньшая сторона сечения a	1,0		1,09—1,45		1,56—1,95		2,1—3,8		4,1—5,1	
Толщина ($B—b$) и предельное отклонение ($\pm\delta$) толщины изоляции	$B—b$	$\pm\delta$	$B—b$	$\pm\delta$	$B—\delta$	$\pm\delta$	$B—b$	$\pm\delta$	$B—b$	$\pm\delta$
Марка меди										
ПБО	0,11	0,01	0,115	0,015	0,125	0,015	0,16	0,015	0,21	0,02
ПБД	0,20	0,02	0,25	0,02	0,25	0,02	0,30	0,03	0,40	0,04
ПБТ	0,30	0,03	0,37	0,04	0,37	0,04	0,45	0,05	0,60	0,06
ПББО . . .	0,45	0,05	0,45	0,05	0,45	0,05	0,45	0,05	0.50	0,05

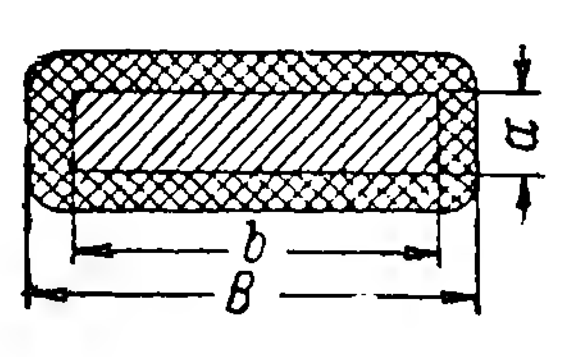


Рис. 4.

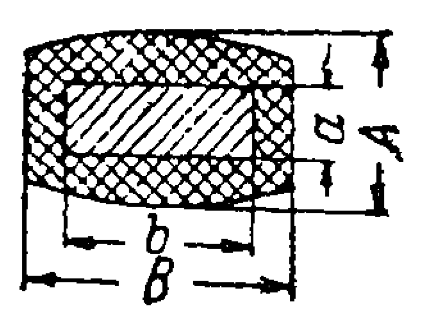


Рис. 5.

Примечания: 1. Медь обмоточная марки ПБОО допускается, по договоренности с кабельными заводами, с размерами изоляции и допусками соответственно круглой меди марки ПБОО.

2. Вследствие явления «вспучивания» толщина $A — a$ (см. рис. 5) больше номинальной толщины $B — b$, но ввиду того, что разница в толщине от вспучивания трудно поддается учету, толщина $A — a$ принята в стандарте равной номинальной $B — b$.

§ 7. Нитки изоляционного покрова обмоточной меди должны быть намотаны на провод плотными, равномерными, с минимальным винтовым ходом, рядами (без ребристости).

Изоляция прямоугольной обмоточной меди не должна давать оголенных мест или заметных просветов при сгибании плашмя (т. е. широкой стороной) на 180° на круглом стержне, диаметром, равным меньшей стороне испытуемой проволоки, но не менее 3 *мм*.

Изоляция круглой проволоки не должна давать оголенных мест или просветов при изгибании на 180° на круглом стержне, диаметром, равным диаметру испытуемой проволоки, но не менее 2 *мм*.

Примечание. Для меди обмоточной марки ПБОО обмотка хлопчатобумажной пряжей может быть выполнена в виде открытой, а не сплошной спирали.

В. УПАКОВКА И МАРКИРОВКА

§ 8. Медь обмоточная, как голая, так и изолированная, должна доставляться в нижеследующей упаковке:

1. Круглая проволока, диаметром от 2,1 *мм* включительно, должна быть намотана на деревянные катушки; уровень намотанной катушки меди должен быть на расстоянии не менее 10 *мм* от уровня краев щек катушки при диаметре щек более 250 *мм*; при диаметре же щек катушки от 250 *мм* и меньше — не менее 3 *мм*. Обмотанные равными, плотными слоями проволоки катушки меди должны быть, во избежание порчи наружных слоев проволоки, тщательно обернуты бумагой. Начало и конец мотка должны быть выведены через отверстие во фланцах катушки достаточно длинными кусками, чтобы можно было произвести контрольные измерения.

2. Круглая проволока, диаметром от 2,26 *мм* и более, а также прямоугольная медь доставляются в бухтах размером согласно эскизу рис. 6 и табл. 7. Бухты должны быть перевязаны лентой в четырех местах.

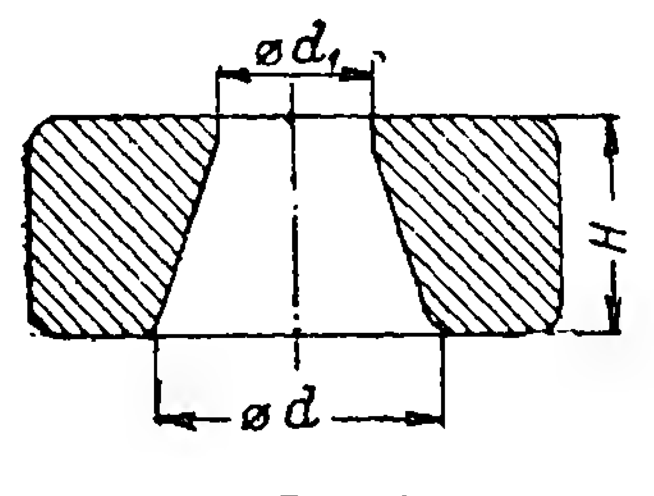


Рис. 6.

Примечание 1. По договоренности потребителя с поставщиком, в зависимости от условий производства и хранения на складе, доставка может производиться: круглой обмоточной изолированной меди указанных в п. 1 настоящего параграфа размеров — в бухтах, а прямоугольной меди — на деревянных катушках (барабанах) и в кругах.

Примечание 2. Поставка голой проволоки в бухтах или катушках обусловливается заказом.

Таблица 7

Размеры и вес бухт (см. рис. 6)

Номера бухт	H, *мм*	d, *мм*	d_1, *мм*	Назначение	Нормальный вес, *кг*
1	130	310	290	Для всей круглой меди и для прямоугольной, сечением до 25 *мм*²	От 31 до 40
2	130	450	410	Для прямоугольной меди, сечением более 25 *мм*²	„ 60 „ 80

Медь обмоточная прямоугольного сечения должна быть намотана обязательно на большую сторону своего сечения, т. е. плашмя. Бухты должны быть плотно обмотаны посконной лентой (мешковиной) или другим равноценным по прочности материалом внахлестку, концы покровной ленты должны быть прочно заметаны ниткой.

§ 9. Каждая катушка или бухта должна быть снабжена прочно привязанным и хорошо запрятанным в слое наружного покрова (во избежание потери при перевозке) ярлыком, содержащим следующие данные: 1) наименование завода, изготовившего провод, 2) марку провода, 3) размеры провода голого и изолированного в миллиметрах, 4) вес нетто и брутто в килограммах.

§ 10. Места связки концов в бухте должны быть отмечены красной бумагой.

Г. ПРАВИЛА ПРИЕМКИ

§ 11. Приемка обмоточной меди производится согласно правилам приемки ОСТ 420 со следующими изменениями и дополнениями.

§ 12. Проверке подлежит каждая бухта или катушка (барабан).

§ 13. Проверка геометрических размеров обмоточной меди производится простым обмером линейных размеров голого и изолированного провода помощью микрометра; у прямоугольной изолированной обмоточной меди измеряется размер *B* (см. рис. 4). Обмер производится на расстоянии не менее 3 *м* от верхнего конца меди.

§ 14. Изоляция проверяется согласно требованиям § 7 настоящего стандарта

ЛАКИ ИЗОЛЯЦИОННЫЕ

Виды лаков

(Гострест «Лакокраска», Москва)

Лак № 320 — светлый. Почти бесцветный лак для изоляции моторных частей, требующих предельного сопротивления току при максимальной гибкости и прочности, как то: якорных секций и магнитных катушек.

Незаменим для пропитки бумаги, различных тканей (для обмотки и других надобностей в технике сильных токов).

Требует сушки при 80—90° С в течение 8—12 часов.

Лак № 324 — светлый, для первой пропитки. Скоросохнущий лак. Употребляется для первой пропитки обмотанных моторных частей, как то: якорных секций, магнитных катушек и различной медной арматуры, требующей большого сопротивления току. Сохнет при комнатной температуре в течение 8—10 часов, а при 80° С — в 2 часа.

Сопротивление на пробивание при толщине слоя лака на бумаге 0,025 *мм* более 1200 V.

Лак № 325 — светлый, скоросохнущий. Ввиду стойкости против воды, смазочного масла и слабых растворов кислоты употребляется для последнего покрытия обмотанных частей, пропитанных лаками № 320 и 324.

Сохнет при комнатной температуре в 8—10 часов, а при 80° С — в 2 часа.

Сопротивление на пробивание при толщине слоя лака 0,025 *мм* более 1300 V.

Лак № 316 — скоросохнущий, черный. Изоляционный лак для спешного ремонта. Сохнет при комнатной температуре в течение 1—2 часов.

Лак № 319 — черный. Лучший из черных лаков для изоляции секций, катушек и другой арматуры для сильных токов, где возможна перегрузка. Отличается прочностью и максимальным сопротивлением току. Требует сушки при 80—90° С на 20—24 часа. Единственный черный лак, сохраняющий на очень долгое время, при самых неблагоприятных условиях, первоначальную гибкость. Сопротивление на пробивание 12 000 V при толщине пропитанного полотна 0,25 *мм*.

Лак № 321 — черный, для последнего покрытия. Применяется для последнего покрытия с горячей сушкой собранных магнитных катушек и т. п., выдерживает без изменения влияние высокой температуры и смазочных минеральных масел. Сушится при 80—90° С на 6—8 часов.

Лак № 375 — черный. Эластичный скоросохнущий лак для изоляции воздушных проводов.

Руководство к употреблению изоляционных электролаков

Общие сведения

При покрытии частей, подлежащих изоляции, изоляционными лаками применяются два способа:

1) горячая сушка — сушка лаков происходит в специально устроенных сушилках при повышении температуры от 80 до 100° С и

2) сушка на воздухе — сушка лаков происходит при комнатной температуре 15—20° С.

Предпочтение следует отдавать первому способу ввиду достижения при нем быстрой, полной и равномерной просушки.

Приготовленные к лакированию обмотанные катушки и секции нужно тщательно просушить для полного удаления находящейся в обмотке влаги. **Оставшаяся влага неминуемо вызовет окисление и поведет к более или менее быстрой порче изоляции.**

Удаление влаги и первая пропитка

Там, где не имеется сушилки-вакуум (вакуум-аппарата), советуем высушивать обмотанные части при 90° С и в горячем виде окунать их в лак для пропитки. Части оставляют в лаке, пока от них подымаются пузырьки воздуха или же пока они не остынут до температуры лака в ванне (не свыше 40°). После этого части следует — по возможности немедленно после стекания излишка лака — передать для просушки.

Просушка лака

Лучшая температура для просушки лака — около 90° С. Для полной просушки слоя лака требуются в среднем 8—12 часов.

Температура выше 100° С и слишком продолжительная сушка могут повредить обмотанную медь. При температуре ниже 80° лак сохнет только на поверхности, а в глубине слой его может остаться непросушенным, что даст нежелательные последствия.

Сушилка должна иметь хорошую и правильную вентиляцию; в противном случае о правильной просушке не может быть и речи.

Для получения вполне хороших результатов необходимо обращать особое внимание на изолируемую медь. Всякая медь со следами окиси должна быть признана негодной к употреблению.

Вторая пропитка

После просушки части снова лакируют лаком № 325 или черным № 321 и сушат вторично, но при повторном лакировании предметы окунают в лак уже в холодном виде, ибо на горячих предметах остается слишком тонкий слой лака.

После сборки отдельных секций в пакет части лакируют еще до двух раз лаком № 325 или черным № 321 (как сказано выше).

Густота лака

Во время работы лак — вследствие испарения растворителя — сгущается и требует прибавления, время от времени, бензола или скипидара для приведения его до первоначальной густоты. Слишком густой лак плохо пропитывает обмотку и может вызвать осложнения в сушке.

Окисление меди при употреблении изоляционного лака может происходить по следующим причинам:

1) неполное удаление влаги в обмотке до пропитки лаком;

2) употребление слишком густого лака для первой пропитки, благодаря чему образуется очень толстый слой лака, не имеющий возможности правильно просохнуть насквозь;

3) оставление катушки или секции долгое время невысушенными после пропитки лаком и неудовлетворительное состояние сушилки.

СВОДНАЯ КАРТА СОСТАВА РАБОЧЕГО ВРЕМЕНИ И ХАРАКТЕРИСТИК ЕГО ОТДЕЛЬНЫХ ЧАСТЕЙ

Основные составляющие рабочего времени		Группы рабочего времени	Краткое содержание	Типические организационные и технические мероприятия
Подготовительное время			Приведение рабочего места, механизмов, аппаратов, орудий производства и самого исполнителя в состояние готовности к исполнению полученного задания	Освобождение рабочего от несвойственных ему функций путем рационализации складского хозяйства, предварительной комплектации и подготовки всего необходимого для выполнения производственного задания и своевременная подача к рабочему месту
Время производительной (полезной) работы	Основное время	Ручное время	Операции, выполняемые непосредственно мускульной силой человека с помощью или без помощи инструментов, приспособлений и т. п.	Замена ручного труда — работой механизма (механизация труда). Улучшение, рационализация и приспособление инструмента. Стандартизация материалов. Диференцирование труда.
		Машинно-ручное время	Операции, выполняемые механизмом при помощи человека, либо осуществляющего подачу обрабатываемого материала, либо направляющего инструмент во время работы механизма	Повышение режима. Введение автоматизации. Рационализация инструментов и приспособлений, повышающая продуктивность механизма либо за счет ускорения процесса, либо за счет большего количества одновременно обрабатываемых деталей. Предупредительный ремонт механизмов. Тщательный уход за механизмом. Замена устарелых конструкций механизмов — более совершенными
		Машинное время	Автоматическая работа механизма без непосредственного участия рабочего во время процесса обработки	
	Вспомогательное время		Приемы в работе, непосредственно не осуществляющие изменений в изготовляемом продукте, но неизбежные и органически необходимые при выполнении этих изменений	Рациональная группировка операций в целях создания условий массовости. Диференциация труда. Выделение вспомогательных операций. Установление правильной последовательности рабочих приемов, обеспечивающих сокращение количества вспомогательных приемов

Непроизводительное время (потери)	По организационно-техническим причинам	Время, связанное с обслуживанием рабочего места	Уход за станком, смазка станка, вынем инструментов, приспособлений в начале рабочего дня и уборки в конце рабочего дня и т. д.	Установление порядка на рабочем месте, рациональное устройство рабочих ящиков, правильный порядок хранения инструмента, достаточный ассортимент инструмента
		Работа	Исправление брака, излишняя обработка, применение неправильных приемов в работе или операций вследствие нерациональной организации рабочего процесса. Дополнительная работа механизмов вследствие слабости режимов	Организация технического контроля и браковки. Изучение опыта передовых стахановцев предприятий. Организация работ на основе продуманного технологического процесса
		Перерывы, хождение, поиски	Бездействие исполнителей или механизмов вследствие несвоевременной подачи необходимых в работе средств производства, указаний для работы, а также поломок, повреждений и т. п. Неиспользованное пассивное время исполнителем во время работы механизма. Поиски, хождения по причинам организационных неполадок	Организация предварительной подготовки и комплектовки заказов и своевременная подача к рабочему месту специальными рабочими. Улучшение планирования. Дополнительная загрузка рабочего вспомогательными операциями при наличии перерывов, связанных с пассивным наблюдением за работой механизма
	По вине исполнителей	Работа	Неправильное выполнение рабочих приемов, исправления, переделки, брак	Техминимум. Сознательное понимание выполняемых процессов. Изучение образцов работы стахановцев. Инструктаж
		Перерывы, хождение, поиски	Поиски инструментов, материалов, п/фабрикатов и проч. вследствие беспорядка на рабочем месте	Знание правил внутреннего распорядка на производстве и самодисциплина
			Частный разговор, выполнение общественных обязанностей во время работы, несвоевременное начало и окончание работы, надевание спецодежды и мытье рук в рабочее время и т. п.	
			Отдых и удовлетворение физиологических потребностей	Физкультура и умение правильно организовать свой отдых вне работы

РАСЧЕТНО-НОРМИРОВОЧНАЯ КАРТА №

Деталь: Статор Тип ——	Чертеж	
	Электр. данные	
Операция: Вложить обмотку в пазы	Нормир. колич.	1 статор
	Разр. работы	3

Техническая характеристика

№ по пор.	Наименование	Размер	№ по пор.	Наименование	Размер
1	Напряжение	220 V	4	Количество витков в пазу	64
2	Количество пазов .	24	5	Внутренний диаметр железа	50 *мм*
3	Диаметр провода . .	0,59 *мм*	6	Шаг обмотки	1—6

№ по пор.	Наименование элементов операции	Продолжительность в минутах	Количество исполнений	Кратность	Трудоемкость
1	Согнуть коробку и вложить в паз . .	0,08	1	24	1,92
2	Взять секцию, удалить завязки и вложить нижний слой в пазы . . .	0,37	1	24	8,88
3	Вложить верхний слой обмотки в паз	0,58	1	24	13,92
4	Осадить нижний слой оправкой	0,16	1	24	3,84
5	Подложить изоляцию в лобовой части и осадить ее	0,37	1	12	4,44
6	Обрезать и загнуть края коробок и заклинить паз . .	0,28	1	24	6,72
7	Оправить обмотку .	1,72	1	1	1,72
8	Отрезать изоляцию на лобовых частях .	3,8	1	1	3,80
9	Привязать номер и отложить статор .	0,36	1	1	0,36

Итого в минутах .	45,60
Прибав. время 3%	1,34
Всего в минутах	46,94
Всего в часах . .	0,78

ОГЛАВЛЕНИЕ

Отдел первый

ТИПЫ И ЭЛЕМЕНТЫ ОБМОТОК

Отдел третий

ПРОИЗВОДСТВО ОБМОТОК

Отдел четвертый

ИСПЫТАНИЯ И ПЕРЕМОТКА ОБМОТОК

Отдел пятый

ПЕРЕСЧЕТ ОБМОТОК

Отдел шестой

ОРГАНИЗАЦИЯ ТРУДА И НОРМИРОВАНИЕ

ПРИЛОЖЕНИЯ

Ответственный редактор *Л. Б. Рисмих*
Технический редактор *Р. В. Эмдина*
Корректор *Н. И. Носилов*

Сдано в набор 5/II—39 г. Подписано к печати 11/III—39 г. Тираж 4000 экз. Формат бумаги 60×92$^{1}/_{16}$. Уч.-авторских листов 36. Авторских листов 28. Печ. листов 29$^{3}/_{4}$. Бум. лист. 14$^{7}/_{8}$+2 вкл. Колич. печатных знаков в бум. листе 115200. Индекс ЭЭ20—3—2. Заказ 1165. Леноблгорлит № 3703.

Набрано и сматрицировано в 4-й тип. ГОНТИ «Красный печатник», Ленинград, Международный, 72а.
Отпечатано с матриц в 16-й тип. треста «Полиграфкнига, Москва, Трехпрудный пер., д. 9. Заказ 469.

Таблица 2

Таблица различных размеров и сечений прямоугольной обмоточной меди

Рис. 1

b \ a	0,74	(0,80)	0,86	(0,93)	1,0	(1,08)	1,16	(1,25)	1,35	(1,45)	1,56	1,68	1,81	(1,95)	2,1	(2,26)	2,44	(2,63)	2,83	(3,05)	3,28	(3,53)	3,8	(4,1)	4,4	(4,7)	5,1
2,1									2,83	3,04	3,28	3,53	3,6		4,2												
(2,26)																											
2,44									3,29	3,54	3,8	4,1	4,4	4,5	4,9		5,7										
(2,63)																											
2,83									3,8	4,1	4,4	4,8	4,9	5,3	5,7	6,2	6,7		7,8								
(3,05)								3,8	4,1	4,4	4,8	5,1	5,3	5,7	6,2	6,7	7,2	7,8		9,1							
3,28							3,8	4,1	4,4	4,8	5,1	5,5	5,7	6,2	6,7	7,2	7,8	8,4	9,1		10,5						
(3,53)						3,8	4,1	4,4	4,8	5,1	5,5	5,9	6,2	6,7	7,2	7,8	8,4	9,1	9,8	10,6		[illegible]					
3,8					3,8	4,1	4,4	4,8	5,1	5,5	5,9	6,4	6,7	7,2	7,8	8,4	9,1	9,8	10,5	11,4	12,2		14,2				
(4,1)					4,1	4,4	4,8	5,1	5,5	5,9	6,4	6,9	7,2	7,8	8,4	9,0	9,8	10,6	11,4	12,3	13,2	14,3		16,6			
4,4					4,4	4,8	5,1	5,5	5,9	6,4	6,9	7,4	7,7	8,4	9,0	9,7	10,5	11,4	12,2	13,2	14,2	15,3	16,5		19,1		
(4,7)					4,7	5,1	5,5	5,9	6,3	6,8	7,3	7,9	8,3	8,9	9,7	10,4	11,2	12,2	13,1	14,1	15,2	16,2	17,6	19,1		21,9	
5,1					5,1	5,5	5,9	6,4	6,9	7,4	8,0	8,6	9,0	9,7	10,5	11,3	12,2	18,2	14,2	15,3	16,5	17,8	19,2	20,7	22,2		25,8
(5,5)					5,5	5,9	6,4	6,6	7,4	8,0	8,6	9,2	9,7	10,5	11,4	12,2	13,2	14,3	15,4	16,6	17,8	19,2	20,7	22,4	24,0	25,7	
5,9					5,9	6,4	6,9	7,4	8,0	8,6	9,2	9,9	10,5	11,3	12,2	18,1	14,2	15,3	16,5	17,8	19,1	20,9	22,2	24,0	25,7	27,5	28,9
(6,4)					6,4	6,9	7,4	8,0	8,6	9,3	10,0	10,8	11,4	12,3	13,2	14,2	15,4	16,6	17,9	19,3	20,9	22,4	24,1	26,0	27,9	29,9	32,4
6,9					6,9	7,5	8,0	8,6	9,3	10,0	10,8	11,6	12,3	13,2	14,8	15,4	16,6	17,9	19,3	20,8	22,4	24,1	26,0	28,1	30,1	32,2	35,0
(7,4)					7,4	8,0	8,6	9,3	10,0	10,7	11,5	12,4	13,2	14,2	15,3	18,5	17,8	19,3	20,8	22,4	24,1	26,0	27,9	30,1	32,3	34,6	37,5
8,0	5,9	6,4	6,9	7,4	8,0	8,6	9,3	10,0	10,8	11,6	12,5	13,4	14,3	15,4	16,6	17,9	19,3	20,8	22,4	24,2	26,0	28,0	30,2	32,6	35,0	37,4	40,0
(8,6)	6,4	6,9	7,4	8,0	8,6	9,3	10,0	10,8	11,6	12,5	13,4	14,5	15,3	16,6	17,9	19,3	20,8	22,4	24,2	26,0	28,0	30,1	32,5	35,1	37,6	40,2	42,[illegible]
9,3	6,9	7,4	8,0	8,6	9,3	10,0	10,8	11,6	12,5	13,5	14,5	15,6	16,6	17,9	19,3	20,8	22,5	24,2	26,0	28,1	30,0	32,6	35,1	37,9	40,7	43,5	47,2
(10,0)	7,4	8,0	8,6	9,3	10,0	10,8	11,6	12,5	13,5	14,5	15,6	16,8	17,9	19,3	20,8	22,4	24,2	26,1	28,1	30,3	32,6	35,1	37,8	40,5	43,8	46,8	50,8
10,8	8,0	8,6	9,3	10,0	10,8	11,7	12,5	13,5	14,5	15,6	15,8	18,1	19,3	20,8	22,5	24,2	26,2	28,2	30,3	32,7	35,2	37,9	40,8	44,1	47,3	50,6	54,9
(11,6)	8,6	9,3	10,0	10,8	11,6	12,5	13,5	14,5	15,7	16,8	18,1	19,5	20,8	22,4	24,2	26,0	28,2	30,3	32,6	35,2	37,8	40,7	43,0	47,3	50,8	55,4	56,9
12,5	9,3	10,0	10,8	11,6	12,5	13,5	14,5	15,6	16,9	18,1	19,5	21,0	22,4	24,2	26,0	25,0	30,3	32,7	35,2	37,9	40,8	43,9	47,3	51	54,8	58,5	63,9
(13,5)	10,0	10,8	11,6	12,5	13,5	14,6	15,7	16,9	18,1	19,6	21,0	22,7	24,2	26,1	28,1	30,3	32,7	35,3	38	41,1	44,1	47,4	51,1	55,2	59,2	63,3	68,7
14,5	10,7	11,6	12,5	13,4	14,5	15,6	16,8	18,1	19,5	21,0	22,6	24,4	26,0	28,1	30,2	32,6	35,2	37,9	40,8	44	47,2	51	54,9	59,2	63,6	68	73,8
(15,6)	11,5	12,5	13,4	14,5	15,6	16,8	18,1	19,5	21,0	22,6	24,4	26,3	28,0	30,2	32,5	35,0	37,8	40,7	43,9	47,4	51	54,8	59,1	63,7	68,4	73,1	79,3
16,8	12,4	13,4	14,5	15,6	16,8	18,1	19,5	21,0	22,7	24,4	26,3	28,3	30,2	32,5	35,1	37,7	40,8	44	47,3	51	54,9	59,1	63,6	68,7	73,7	78,7	85,5
(18,1)	13,4	14,5	15,6	16,8	18,1	19,5	21,0	22,7	24,4	26,3	28,3	30,4	32,5	35,1	37,8	40,7	43,9	47,4	51	55	59,1	63,7	68,6	74	79,4	85,8	92,1
19,5	14,4	15,6	16,8	18,1	19,5	21,0	22,6	24,4	26,3	28,3	30,5	32,8	35,1	37,8	40,7	43,9	47,4	51,1	55	59,3	63,7	68,6	73,9	79,8	85,6	91,5	99,2
(21,0)	15,6	16,8	18,1	19,5	21,0	22,7	24,4	26,3	28,3	30,5	32,8	35,3	37,8	40,7	43,9	47,2	51	55	59,2	63,8	68,7	73,9	79,6	85,9	92,2	98,5	106,9
22,6	16,7	18,1	19,5	21,0	22,6	24,4	26,2	28,3	30,5	32,8	35,3	38	40,7	43,9	47,2	51	54,9	58,9	63,7	63,7	73,9	79,6	85,7	92,5	99,2	106	115
(24,4)	18,1	19,5	21,0	22,6	24,4	26,3	28,3	30,5	[illegible]	35,3	38	41	43,5	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	64	66,6	74,9	79,8	85,9	92,5	99,8	107,1	114,5	124,2
26,3	19,6	21,0	22,6	24,4	26,3	28,3	30,5	32,8	35,3	38	41	44,2	47,4	51,1	55	58,9	64	69	74,2	80	86	92,6	99,7	107,0	115,5	123,4	133,9
(28,3)	21,0	22,6	24,4	26,3	28,3	30,5	32,8	35,3	38	41	44,1	47,5	51	55	59,2	63,7	68,8	74,2	79,9	86,1	92,0	99,7	107,4	115,8	124,3	132,8	144,1
30,5	22,6	24,4	26,3	28,3	30,5	32,8	35,3	38	41	44,2	47,6	51,2	55	59,3	63,9	68,7	74,2	80	86,1	92,8	99,8	107,4	115,7	124,8	134	143,1	155,3
(32,8)	24,3	26,2	28,3	30,5	32,8	35,3	38	41	44,3	47,5	51,2	55,1	59,1	63,7	63,7	76,9	79,8	86	92,6	99,8	107,3						
35,3	26,1	28,3	30,5	32,8	35,3	38	40,9	44,1	47,7	51,2	55,1	59,3	63,7	68,6	73,9	79,6	85,9	92,6	99,7	107,4	115,6						
(38)																											
41											64	68,9	74	79,8	85,9	92,5	98,8	107,6	115,8	124,8	134,3						
(44)																											
47											73,8	79,0	85,8	91,5	98,5	106	114,5	123,4	132,8	143,1	153,9						
(51)																											
55											85,8	92,4	93,8	107	115,3	124,1	134	144,4	155,4								
(59)																											
64											99,8	107,5	115,6	124,6	134,2	144,4	155,9										

Примечания: 1 Размеры обмоточной меди, соответствующие пустым графам таблицы, в стандарт не входят

2. Медь обмоточная с размерами, стоящими ниже жирной толстой черты, изготовляется без изоляций

3 Размеры, стоящие в скобках, не рекомендуются и применяются, когда это дает по расчету экономию в меди.

4. Цифровые значения, стоящие в таблице, обозначают сечения в квадратных миллиметрах, исчисленные с учетом закруглений.